

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukce staveb

**Monolitická železobetonová konstrukce administrativní budovy**

Monolithic reinforced concrete structure of office building

Student:

Bc. David Jesch

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martina Šmiřáková, Ph.D.

Ostrava 2017

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. David Jesch**  
Studijní program: N3607 Stavební inženýrství  
Studijní obor: 3607T037 Konstrukce staveb  
Téma: **Monolitická železobetonová konstrukce administrativní budovy**  
**Monolithic reinforced concrete structure of office building**  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

V rámci této práce bude zpracován statický výpočet železobetonové konstrukce administrativní budovy. V práci budou zpracovány vybrané výkresy tvaru a vybrané výkresy výztuže včetně detailů.

### Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: ČNI, 2004.

ČSN EN 1991-1-1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: ČNI, 2004.

ČSN EN 1991-1-3: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem. Praha: ČNI, 2005.

ČSN EN 1991-1-4: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem. Praha: ČNI, 2007.


ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí - část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ÚNMZ, 2011.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martina Šmíráková, Ph.D.**

Datum zadání: 28.02.2017

Datum odevzdání: 01.12.2017

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
děkan fakulty

**Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 30. 11. 2017

.....

podpis studenta

### **Prohlašuji:**

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 30. 11. 2017

.....

podpis studenta

## **Anotace**

Diplomová práce se zabývá statickým posouzením nadzemní části skeletové konstrukce administrativní budovy ze železobetonu. Hlavní část diplomové práce je věnována statickému návrhu a posouzení jednotlivých nosných prvků železobetonové konstrukce. V programu Scia Engineer 2016 byl vytvořen statický model celé konstrukce. Z tohoto modelu byly získány vnitřní síly, které pak byly ověřeny ručním výpočtem. Jednotlivé části byly dále posouzeny. V příloze práce jsou pak přiloženy vybrané výkresy konstrukční části stavby.

## **Klíčová slova**

Statické řešení, vnitřní síly, posudek spolehlivosti, beton, výztuž do betonu, deska, sloup.

## **Annotation**

This thesis deals with static analysis of the above-ground part of the skeletal structure of the reinforced concrete office building. The main part of the thesis is devoted to static design and assessment of individual supporting elements of reinforced concrete structure. In the Scia Engineer 2016, a static model of the entire construction was created. Internal forces were obtained from this model and verified by manual calculation. The parts were further assessed. In the attachment there are selected drawings of the structural part of the building.

## **Keywords**

Static analysis, internal forces, reliability assessment, concrete, concrete reinforcement, slab, column.

## Seznam použitých symbolů

$\alpha_{cc}$	Součinitel, kterým se zohledňují dlouhodobé účinky na pevnost v tlaku a nepříznivé účinky vyplývající ze způsobu zatěžování
$d$	Účinná výška průřezu [m]
$d_g$	Největší jmenovitý rozměr zrna kameniva [m]
$e$	Výstřednost, excentricita [m]
$f_{ck}$	Charakteristická pevnost betonu v tlaku [MPa]
$f_{cd}$	Návrhová pevnost betonu v tlaku [MPa]
$f_{ctm}$	Průměrná hodnota pevnosti v dostředném tahu [MPa]
$f_{td}$	Návrhová únosnost betonu v tahu a soudržnosti [MPa]
$f_{yk}$	Charakteristická pevnost oceli na mezi kluzu [MPa]
$f_{yd}$	Návrhová pevnost oceli na mezi kluzu [MPa]
$f_{ctk,0,05}$	Charakteristická pevnost betonu v tahu – 5% kvantil [MPa]
$f_{ctd,0,05}$	Návrhová pevnost betonu v tahu – 5% kvantil [MPa]
$h_s$	Tloušťka desky [m]
$s_k$	Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi [kPa]
$s_d$	Návrhová hodnota zatížení sněhem na zemi [kPa]
$x$	Výška tlačené oblasti betonového prvku [m]
$\gamma_c$	Součinitel spolehlivosti materiálu betonu
$\gamma_s$	Součinitel spolehlivosti materiálu betonářské výztuže
$\lambda$	Štíhlostní poměr
$A$	Průřezová plocha [m <sup>2</sup> ]
$A_c$	Průřezová plocha betonu [m <sup>2</sup> ]
$A_s$	Průřezová plocha betonářské výztuže [m <sup>2</sup> ]
$A_{s,min}$	Minimální průřezová plocha betonářské výztuže [m <sup>2</sup> ]
$E_s$	Modul pružnosti betonářské výztuže [GPa]
$L$	Délka [m]
$M$	Ohybový moment [kNm]
$N$	Normálová síla [kN]
$V$	Posouvající síla [kN]

# Obsah

1	Úvod .....	1
2	Údaje o stavbě .....	2
2.1	Materiály .....	3
2.2	Rozměry konstrukcí .....	4
2.2.1	Desky na úrovních (+4,440, +8,390, +12,340) .....	4
2.2.2	Deska na úrovni (+2,950) .....	4
2.2.3	Schodišťová deska .....	5
2.2.4	Sloupy .....	5
2.3	Účinky druhého řádu .....	6
3	Zatížení .....	7
3.1	Stálá zatížení .....	7
3.1.1	Skladba stropu .....	7
3.1.2	Skladba střechy .....	9
3.1.3	Skladba schodiště .....	10
3.1.4	Skladba mezipodesty .....	11
3.1.5	Atika .....	12
3.1.6	Fasádní sendvičový panel .....	12
3.2	Nahodilá zatížení .....	12
3.2.1	Užitné zatížení stropu .....	12
3.2.2	Užitné zatížení schodiště .....	13
3.2.3	Zatížení sněhem .....	13
3.2.4	Zatížení větrem .....	19
3.3	Mimorádná zatížení .....	26
3.3.1	Seizmické zatížení .....	26
4	Výpočet vnitřních sil .....	27

4.1	Výpočet počítačovým programem .....	27
4.1.1	Deska – lokálně podepřená (na úrovni +12,340) .....	27
4.1.2	Deska – lokálně podepřená (na úrovni +8,390) .....	31
4.1.3	Deska – lokálně podepřená (na úrovni +4,440) .....	35
4.1.4	Deska – lokálně podepřená (na úrovni +2,950) .....	38
4.1.5	Sloupy S1 a S2 v řadách B2 – B6, C2 – C6, D2 – D6 .....	41
4.1.6	Sloupy S3 v řadách C'1 - C'2 a D1 .....	42
4.1.7	Sloupy S4 a S5 v řadách A1 – A2, B1 a C1 .....	43
4.1.8	Sloupy S6 v řadách A3 – A5 .....	43
4.1.9	Ztužující jádro .....	43
4.2	Ruční výpočet.....	44
4.2.1	Schodiště .....	44
4.3	Kontrolní výpočet.....	45
4.3.1	Deska – lokálně podepřená (na úrovni +12,340) .....	45
4.3.2	Sloup.....	48
4.4	Kontrola vnitřních sil .....	49
4.4.1	Deska – lokálně podepřená (na úrovni +12,340) .....	49
4.4.2	Sloup.....	50
5	Návrh a posouzení výztuže .....	51
5.1	Deska – lokálně podepřená (na úrovni +12,340) .....	51
5.1.1	Mezní stav únosnosti.....	51
5.1.2	Mezní stav použitelnosti.....	92
5.2	Deska – lokálně podepřená (na úrovni +8,390 a +4,440) .....	94
5.2.1	Mezní stav únosnosti .....	94
5.2.2	Mezní stav použitelnosti.....	130
5.3	Deska – lokálně podepřená (na úrovni +2,950) .....	132
5.3.1	Mezní stav únosnosti .....	132



5.3.2	Mezní stav použitelnosti.....	147
5.4	Sloupy S1 a S2 v řadách B2 – B6, C2 – C6, D2 – D6 .....	150
5.4.1	Mezní stav únosnosti.....	150
5.4.2	Mezní stav použitelnosti.....	162
5.5	Sloupy S3 v řadách C'1 - C'2 a D1 .....	166
5.5.1	Mezní stav únosnosti .....	166
5.5.2	Mezní stav použitelnosti.....	179
5.6	Sloupy S4 a S5 v řadách A1 – A2, B1 a C1 .....	183
5.6.1	Mezní stav únosnosti .....	183
5.6.2	Mezní stav použitelnosti.....	195
5.7	Sloupy S6 v řadách A3 – A5 .....	198
5.7.1	Mezní stav únosnosti .....	198
5.7.2	Mezní stav použitelnosti.....	204
5.8	Ztužující jádro .....	205
5.8.1	Mezní stav únosnosti .....	205
5.8.2	Mezní stav použitelnosti.....	214
5.9	Schodiště .....	217
5.9.1	Mezní stav únosnosti .....	217
5.9.2	Mezní stav použitelnosti.....	221
6	Závěr.....	223
	Literatura .....	225
	Seznam příloh.....	227

# 1 Úvod

Tato práce řeší alternativní návrh již stojící administrativní budovy firmy Vezeko, která vyrábí přívěsné vozíky. Stavba je postavena jako železobetonový montovaný skelet. Předmětem této práce je návrh a posudek rozměrově stejné konstrukce ve stejné lokalitě, avšak systémem monolitickým s lokálně podepřenými deskami. Lokálně podepřené železobetonové stropní desky bez viditelných sloupových hlavic umožňují snadnou montáž rozvodů a jsou považovány za ekonomické řešení konstrukce.

V této práci jsou řešeny všechny nadzemní nosné konstrukce stavby, což zahrnuje lokálně podepřené desky, sloupy, ztužující jádro a schodiště. Základová konstrukce již není předmětem této práce.

Použití betonu a betonových konstrukcí má nezastupitelné místo ve stavitelství, zejména pak v případě technologických celků nebo pozemních staveb. Samotné navrhování a posuzování betonových konstrukcí řeší soubor evropských norem ČSN EN 1992: Navrhování betonových konstrukcí. Tyto normy blíže specifikují návrhové postupy pro posudky konstrukcí. Základním principem eurokódů pro betonové konstrukce je, že konstrukce musí splňovat kritéria bezpečnosti, hospodárnosti a trvanlivosti. Samotný návrh a posudek konstrukce se dělí na mezní stavy únosnosti a použitelnosti. Mezní stav únosnosti souvisí zejména s bezpečností. Posuzuje se pevnost, stabilita, porušení konstrukce s ohledem na kolaps konstrukce. Ve srovnání s tím, mezní stav použitelnosti posuzuje kritéria především s ohledem na komfort užívání a vzhledu.



*Obr. 1: Foto administrativní budovy Vezeko [zdroj: [www.vezeko.cz](http://www.vezeko.cz)]*

## 2 Údaje o stavbě

Stavba se nachází ve městě Velké Meziříčí v okrese Žďár nad Sázavou v kraji Vysočina. Konstrukce je řešena monolitickými železobetonovými, lokálně podepřenými deskami. Vertikální nosnou konstrukci tvoří sloupy čtvercového půdorysu a ztužující jádro, které zároveň slouží jako výtahová šachta a nosná konstrukce železobetonového schodiště. Objekt administrativní budovy je přistavován ke stávajícímu objektu ocelové haly. Z konstrukčního hlediska se jedná o dva samostatné objekty.



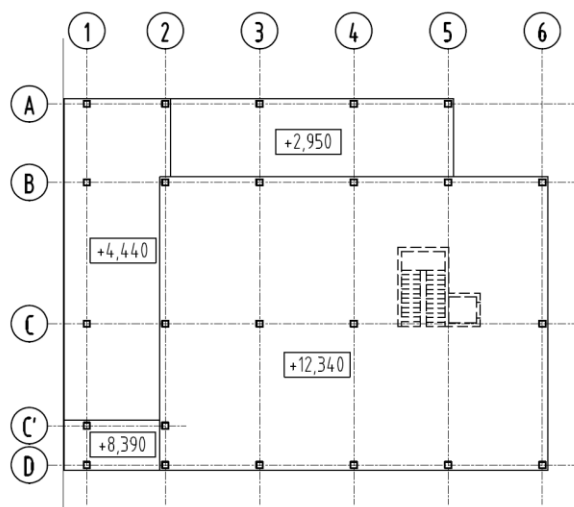
Obr. 2: Místo stavby [zdroj: [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz)]

Jedná se o 3 podlažní objekt o celkových půdorysných rozměrech 30,800 x 23,700 m. Objekt je v podélném směru navržen v modulu 5,0 x 6,0 x 6,0 x 6,0 x 6,0 m. V příčném směru je navržen v modulu 9,0 x 9,0 x 5,0 m. Krajní sloupy v ose 1 jsou odsazeny 1,5 m od stávajícího objektu haly. Sloupy jsou řešeny jako průběžné půdorysného rozměru 400 x 400 mm. Vetknutí do základových patek je navrženo na úrovni -0,600 m.

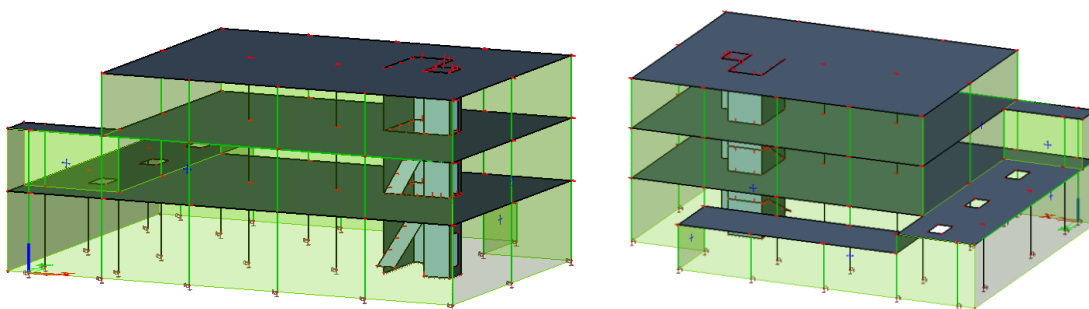
Střešní konstrukce jsou ve čtyřech výškových úrovních řešeny jako ploché střechy (viz obr. 3). Skladba ploché střechy viz 3.1.2. Opláštění stavby tvoří fasádní sendvičový panel Kingspan KS1000 AWP.

Schodiště mezi 1.NP a 2.NP, respektive mezi 2.NP a 3.NP je navrženo jako dvouramenné. Povrchová úprava na schodišti je navržena tl. 15 mm.

Výtah je navržen pístový hydraulický, který přenáší zatížení přímo do základové konstrukce, která není předmětem této práce.



*Obr. 3: Schéma osových řad*



*Obr. 4: 3D model konstrukce vytvořený v programu Scia Engineer*

## 2.1 Materiály

Celá konstrukce je navržena z betonu C30/37 s výztuží B500B. Všechny železobetonové vodorovné konstrukce a svislé konstrukce ve 2. a 3. podlaží jsou navrženy z betonu se stupněm vlivu prostředí XC1. Svislé železobetonové konstrukce v 1. podlaží zasahují pod úroveň terénu, proto jsou navrženy z betonu se stupněm vlivu prostředí XC2.

### Beton: C30/37

- Charakteristická válcová pevnost betonu v tlaku:  $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

- Součinitel spolehlivosti materiálu:  $\gamma_c = 1,5$
- Návrhová válcová pevnost betonu v tlaku:  

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 1 \cdot 30 / 1,5 = 20 \text{ MPa}$$
- Modul pružnosti:  $E_{cm} = 33 \text{ GPa}$
- Průměrná hodnota pevnosti v dostředném tahu:  $f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$
- Charakteristická hodnota pevnosti v dostředném tahu 5% kvantil:  

$$f_{ctk;0.05} = 2,0 \text{ MPa}$$

### **Výztuž do betonu: B500B**

- Charakteristická mez kluzu betonářské výztuže:  $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
- Součinitel spolehlivosti materiálu:  $\gamma_s = 1,15$
- Návrhová mez kluzu betonářské výztuže:  

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1,15 = 434,78 \text{ MPa}$$
- Modul pružnosti:  $E_s = 200 \text{ GPa}$

## **2.2 Rozměry konstrukcí**

### **2.2.1 Desky na úrovních (+4,440, +8,390, +12,340)**

- Menší rozpětí:  $l_1 = 6 \text{ m}$
- Větší rozpětí:  $l_2 = 9 \text{ m}$
- Orientační doporučená tloušťka desky bezhřibově lokálně podepřené:

$$h_s = \frac{l_2}{33} = \frac{9}{33} = 0,273 \text{ m}$$

Navržená tloušťka desky je 275 mm.

### **2.2.2 Deska na úrovni (+2,950)**

- Menší rozpětí:  $l_1 = 5 \text{ m}$
- Větší rozpětí:  $l_2 = 6 \text{ m}$

- Orientační doporučená tloušťka desky bezhřibově lokálně podepřené:

$$h_s = \frac{l_2}{33} = \frac{6}{33} = 0,182 \text{ m}$$

Navržená tloušťka desky je 190 mm.

### 2.2.3 Schodišťová deska

- Konzolově uložená deska délky:  $l_1 = 1,2 \text{ m}$
- Orientační doporučená tloušťka desky konzolově:

$$h_s = \frac{l_1}{10} = \frac{1,2}{10} = 0,120 \text{ m}$$

Navržená tloušťka desky je 120 mm.

### 2.2.4 Sloupy

Hodnoty stálého zatížení stropní konstrukce prvního a druhého podlaží viz 3.1.1. Hodnoty stálého zatížení stropní konstrukce třetího podlaží viz 3.1.2. Hodnoty užitého zatížení stropní konstrukce prvního a druhého podlaží viz 3.2.1. Hodnoty zatížení stropní konstrukce třetího podlaží sněhem viz 3.2.3. Hodnoty zatížení stropní konstrukce třetího podlaží větrem viz 3.2.4.

- Odhadnutý stupeň vyztužení:  $\rho_s = 0,01$
- Počet podlaží:  $n = 3$
- Návrhové stálé a nahodilé zatížení 1. stropní konstrukce:

$$f_{1d} = 11,66 + 5,85 = 17,51 \text{ kN/m}^2$$

- Návrhové stálé a nahodilé zatížení 2. stropní konstrukce:

$$f_{2d} = 11,66 + 5,85 = 17,51 \text{ kN/m}^2$$

- Návrhové stálé a nahodilé zatížení 3. stropní konstrukce:

$$f_{3d} = 9,76 + 1,55 + 0,66 = 11,97 \text{ kN/m}^2$$

- Doporučená plocha průřezu sloupu:

$$A_c = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} f_{id} \cdot l_1 \cdot l_2}{0,8 \cdot f_{cd} + \rho_s \cdot f_{yd}} = \frac{(17,51 + 17,51 + 11,97) \cdot 6 \cdot 9}{0,8 \cdot 20 \cdot 10^3 + 0,01 \cdot 434,78 \cdot 10^3} = 0,123 \text{ m}^2$$

- Doporučená délka strany sloupu:  $b = \sqrt{A_c} = \sqrt{0,123} = 0,351 \text{ m}$

Navržené rozměry sloupu jsou 400 x 400 mm.

## 2.3 Účinky druhého řádu

- Účinky druhého řádu mohou být zanedbány, pokud vyhoví následující podmínka:

$$F_{V,Ed} \leq k_1 \cdot \frac{n_s}{n_s + 1,6} \cdot \frac{\sum E_{cd} \cdot I_c}{L^2}$$

- Celkové svislé zatížení ztužených a ztužujících prvků (hodnota spočtena pomocí programu Scia Engineer 16 jako součet reakcí ve vetknutí):

$$F_{V,Ed} = 24008 \text{ kN}$$

- Počet podlaží:  $n_s = 3$
- Celková výška stavby nad úrovní vetknutí:  $L = 12,940 \text{ m}$
- Součinitel:  $k_1 = 0,31$
- Návrhová hodnota modulu pružnosti betonu:

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{\gamma_{CE}} = \frac{33}{1,2} = 27,5 \text{ GPa}$$

- Moment setrvačnosti betonového průřezu (neporušeného trhlinami) ztužujícího průřezu: Moment setrvačnosti je vzhledem ke složitosti tvaru ztužujícího jádra vypočten pomocí programu FIN EC – Průřez. Je vybrán moment setrvačnosti k ose  $x$ , který je menší než moment setrvačnosti k ose  $y$ .

$$I_c = 10,64 \cdot 10^{12} \text{ mm}^4$$

- Posudek:

$$24,008 \text{ MN} < 0,31 \cdot \frac{3}{3 + 1,6} \cdot \frac{27,5 \cdot 10^9 \cdot 10,64}{12,940^2} = 353,3 \text{ MN}$$

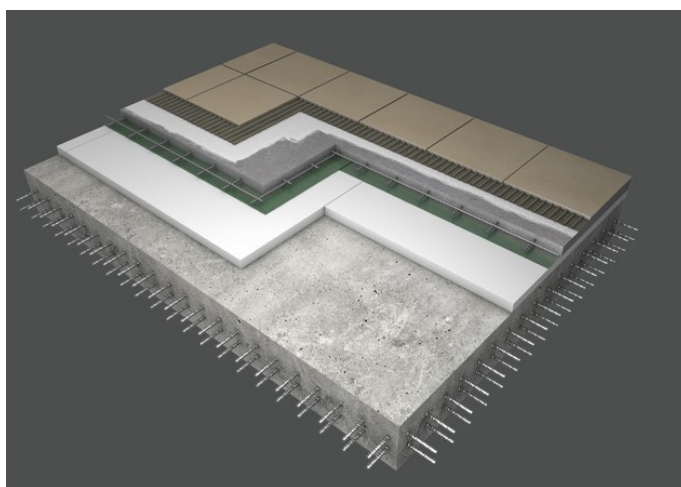
→ Účinky druhého řádu lze zanedbat

## 3 Zatížení

### 3.1 Stálá zatížení

#### 3.1.1 Skladba stropu

V budově je na chodbách, toaletách a v hale použita jako pochozí vrstva keramická dlažba. V kancelářích je pak použita laminátová podlaha. Je spočteno stálé zatížení pro obě varianty. Ve výpočtu je z důvodu zjednodušení dále uvažováno, na stranu bezpečnou, s větší z hodnot stálého plošného zatížení, a sice s keramickou dlažbou.

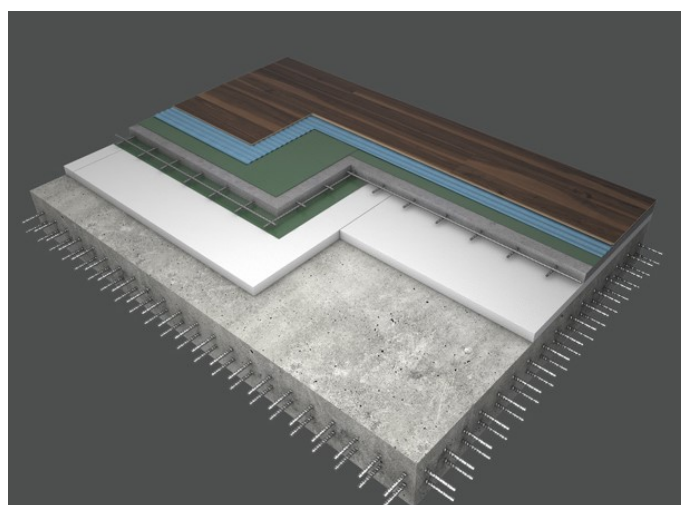


*Obr. 5: Skladba stropu – varianta keramická dlažba [zdroj: [www.dek.cz](http://www.dek.cz)]*



<i>Popis</i>	<i>tl.</i> [mm]	$\gamma$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$g_k, q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_G, \gamma_Q$	$g_d, q_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Keramická dlažba	10	2200	0,22	1,35	0,30
Lepidlo na dlažbu	5	2300	0,12	1,35	0,16
Penetrace	-	-	-	-	-
Roznášecí betonová mazanina s kari sítí	50	2500	1,25	1,35	1,69
Separční polyethylenová fólie	0,2	-	0,01	1,35	0,01
Kročejová izolace – EPS-T	30	15	0,01	1,35	0,01
ŽB stropní deska	275	2500	6,88	1,35	9,29
SDK podhled 1x12,5 včetně konstrukce	-	-	0,15	1,35	0,20
Celkové zatížení bez nosné stropní k-ce			1,76	1,35	2,37
Celkové zatížení včetně nosné stropní k-ce			8,64	1,35	11,66

*Tab.1: Skladba stropu – varianta keramická dlažba*

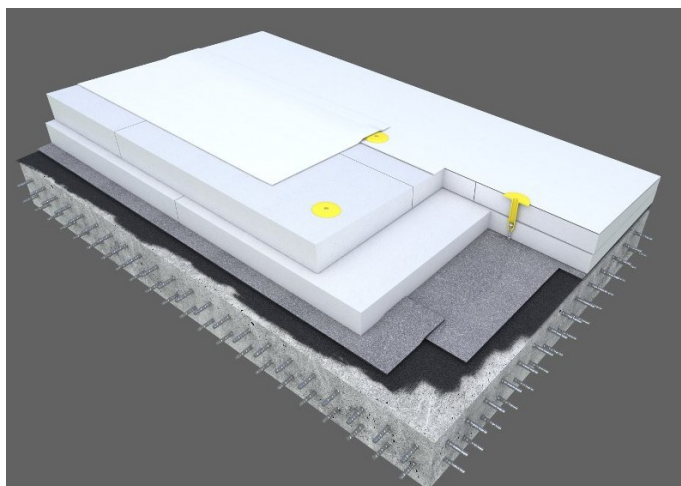


*Obr. 6: Skladba stropu – varianta laminátová podlaha [zdroj: www.dek.cz]*

<i>Popis</i>	<i>tl.</i> [mm]	$\gamma$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$g_k, q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_G, \gamma_Q$	$g_d, q_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Laminátová podlaha	10	600	0,06	1,35	0,08
Tlumící podložka – pěnový polyethylen	5	30	0,01	1,35	0,01
Separáční polyethylenová fólie	0,2	-	0,01	1,35	0,01
Roznášecí betonová mazanina s kari sítí	50	2500	1,25	1,35	1,69
Separáční polyethylenová fólie	0,2	-	0,01	1,35	0,01
Kročejová izolace – EPS-T	30	15	0,01	1,35	0,01
ŽB stropní deska	275	2500	6,88	1,35	9,29
SDK podhled 1x12,5 včetně konstrukce	-	-	0,15	1,35	0,20
Celkové zatížení bez nosné stropní k-ce			1,50	1,35	2,01
Celkové zatížení včetně nosné stropní k-ce			8,38	1,35	11,30

*Tab.2: Skladba stropu – varianta laminátová podlaha*

### 3.1.2 Skladba střechy



*Obr. 7: Skladba střechy [zdroj: www.dek.cz]*

<i>Popis</i>	<i>tl.</i> [mm]	$\gamma$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$g_k, q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_G, \gamma_Q$	$g_d, q_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Hydroizolační vrstva – fólie z TPO/FPO	1,5	-	0,02	1,35	0,03
Tepelněizolační vrstva – EPS 100	150	23	0,03	1,35	0,05
Spádové klíny – EPS 100 (tl. 20-200 mm)	110	23	0,03	1,35	0,04
Pás z SBS modifikovaného asfaltu	4	2300	0,09	1,35	0,12
Asfaltová emulze – přípravný nátěr	-	-	0,01	1,35	0,01
ŽB stropní deska	275	2500	6,88	1,35	9,29
SDK podhled 1x12,5 včetně konstrukce	-	-	0,15	1,35	0,2
Celkové zatížení bez nosné stropní k-ce			0,33	1,35	0,47
Celkové zatížení včetně nosné stropní k-ce			7,21	1,35	9,76

Tab.3: Skladba střechy

### 3.1.3 Skladba schodiště

- Výška schodišťového stupně:  $h = 176,5 \text{ mm}$
- Šířka schodišťového stupně:  $b = 275 \text{ mm}$
- Roznášecí délka schodišťového stupně:

$$l = \sqrt{h^2 + b^2} = \sqrt{176,5^2 + 275^2} = 326,8 \text{ mm}$$

- Přepočtení ŽB schodišťových stupňů na souvislou desku tloušťky  $t$ :

$$t = \frac{0,5 \cdot h \cdot b}{l} = \frac{0,5 \cdot 176,5 \cdot 275}{326,8} = 74,3 \text{ mm}$$

<i>Popis</i>	<i>tl.</i> [mm]	$\gamma$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$g_k, q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_G$ , $\gamma_Q$	$g_d, q_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Keramická dlažba *(176,5+275)/326,8=1,38	10	2200	0,30	1,35	0,41
Lepidlo na dlažbu *(176,5+275)/326,8=1,38	5	2300	0,16	1,35	0,21
Penetrace	-	-	-	-	-
ŽB schodišťové stupně	74,3	2500	1,86	1,35	2,51
ŽB deska	120	2500	3,00	1,35	4,05
Vápenocementová omítka	15	1900	0,29	1,35	0,38
Celkové zatížení bez nosné stropní k-ce			2,61	1,35	3,51
Celkové zatížení včetně nosné stropní k-ce			5,61	1,35	7,56

Tab.4: Skladba schodiště

### 3.1.4 Skladba mezipodesty

<i>Popis</i>	<i>tl.</i> [mm]	$\gamma$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$g_k, q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_G$ , $\gamma_Q$	$g_d, q_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Keramická dlažba	10	2200	0,22	1,35	0,30
Lepidlo na dlažbu	5	2300	0,12	1,35	0,16
Penetrace	-	-	-	-	-
ŽB deska	120	2500	3,00	1,35	4,05
Vápenocementová omítka	15	1900	0,29	1,35	0,38
Celkové zatížení bez nosné stropní k-ce			0,63	1,35	0,84
Celkové zatížení včetně nosné stropní k-ce			3,63	1,35	4,89

Tab.5: Skladba mezipodesty

### 3.1.5 Atika

Atika je vyzděná z dvou řad tvárnic POROTHERM 30 P+D. Výška atiky je tak 0,5 m.

<i>Popis</i>	<i>tl.</i> [mm]	$\gamma$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$g_k, q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_G, \gamma_Q$	$g_d, q_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Porotherm 30 P+D	300	900	2,70	1,35	3,65
Celkové zatížení			2,70	1,35	3,65

Tab.6: Atika

### 3.1.6 Fasádní sendvičový panel

<i>Popis</i>	<i>tl.</i> [mm]	$\gamma$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$g_k, q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_G, \gamma_Q$	$g_d, q_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Kingspan KS1000 AWP	150	-	0,15	1,35	0,20
Celkové zatížení			0,15	1,35	0,20

Tab.7: Fasádní sendvičový panel

## 3.2 Nahodilá zatížení

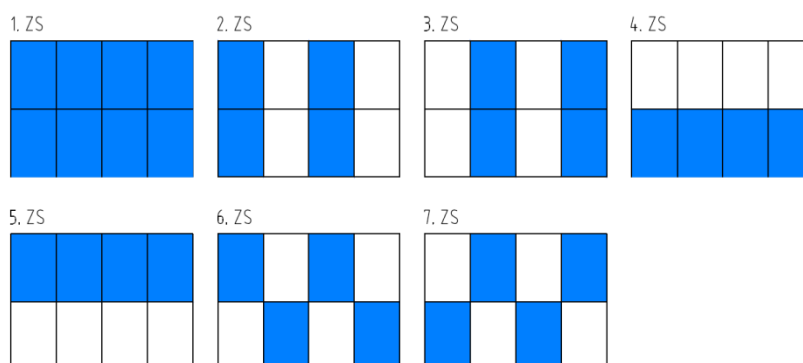
### 3.2.1 Užité zatížení stropu

Zatížení je uvažováno ve stavu jak na celé ploše, tak i v každém druhém pruhu a to v jednom i druhém směru, a také šachovnicově (schéma viz obr. 8). Obrázek je znázorněn zjednodušeně pro pravidelnou desku obdélníkového půdorysu bez otvorů. Pro desku na úrovni +12,340 m nad třetím podlažím je uvažováno pouze zatížení instalacemi v podhledu. Příčky jsou v celé budově řešeny jako sádkartonové, což do budoucna umožňuje jednoduchou změnu dispozice.

Hmotnost 1 bm příčky:  $50 \text{ kg/m}^2 \cdot 3,780 \text{ m} = 189 \text{ kg/m} = 1,89 \text{ kN/m}$

<i>Popis</i>	$g_k, q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_G$ $\gamma_Q$	$g_d, q_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Kancelářské plochy (kategorie B)	3,00	1,5	4,50
Přemístitelné příčky s vlastní tíhou < 2,0 kN/m	0,80	1,5	1,20
Instalace v podhledu (10 kg/m <sup>2</sup> )	0,10	1,5	0,15
Celkové zatížení	3,90	1,5	5,85

Tab.8: Užité zatížení stropu



Obr. 8: Schéma zatěžovacích stavů užitého zatížení schodiště

### 3.2.2 Užité zatížení schodiště

<i>Popis</i>	$g_k, q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_G$ $\gamma_Q$	$g_d, q_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Užité zatížení schodiště	4,00	1,5	6,00
Celkové zatížení	4,00	1,5	6,00

Tab.9: Užité zatížení schodiště

### 3.2.3 Zatížení sněhem

Stavba se nachází ve Velkém Meziříčí, kde se podle mapy sněhových oblastí jedná o III. sněhovou oblast s charakteristickou hodnotou zatížení  $s_k = 1,5 \text{ kPa}$ . Ve výpočtu je uvažována charakteristická hodnota zatížení  $s_k = 1,29 \text{ kPa}$  převzata z digitální mapy ze serveru [www.snehovamapa.cz](http://www.snehovamapa.cz). Údaje poskytnuté digitální mapou jsou garantovány Českým

hydrometeorologickým ústavem. Stavba se nenachází v blízkosti vyšších staveb, tudíž je uvažováno s normálním typem krajiny. Střecha o sklonu  $1,7^\circ$  (3%) je považována za plochou střechu. Střechy v různých částech budovy se nachází v různých výškových úrovních, tudíž bude docházet k návějším na nižších střechách. K sesuvu sněhu z vyšší střechy na nižší docházet nebude, jelikož všechny přilehlé střechy mají sklon menší než  $15^\circ$ .

- Sněhové návěje u atiky není potřeba k malé výšce atiky uvažovat:

$$\mu_2 = \gamma \cdot h / s_k = 2,0 \cdot 0,145 / 1,29 = 0,22 < \mu_1 = 0,8$$

- Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi:  $s_k = 1,29 \text{ kPa}$
- Součinitel expozice:  $C_e = 1,0$
- Tepelný součinitel:  $C_t = 1,0$
- Tvarový součinitel zatížení sněhem:  $\mu_1 = 0,8$
- Zatížení sněhem na střeše:

$$s_{k,1} = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,29 = 1,03 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{d,1} = s_{k,1} \cdot \gamma_Q = 1,032 \cdot 1,5 = 1,55 \text{ kN/m}^2$$

- Užité zatížení střechy (kat. H) se neuplatní:

$$q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2 < s_{k,1} = 1,03 \text{ kN/m}^2$$

#### **Zatížení střechy (+8,390) přiléhající k vyšším stavbám:**

- Objemová tíha sněhu:  $\gamma = 2,0 \text{ kN/m}^3$
- Délka návěje:

$$l_s = 2 \cdot h = 2 \cdot 4,095 = 8,19 \text{ m}$$

- Tvarový součinitel zatížení sněhem zohledňující sesuv sněhu z horní střechy:

$$\mu_s = 0$$

- Tvarový součinitel zatížení sněhem zohledňující působení větru:

$$\mu_w = (b_1 + b_2) / 2h \leq \gamma \cdot h / s_k$$

$$\mu_w = (24,7 + 6,1) / (2 \cdot 4,095) = 3,77 < 2,0 \cdot 4,095 / 1,29 = 6,35$$

$$\mu_w = 2,0 - \text{Maximální hodnota dle normy [3] pro sněhovou oblast I – IV}$$

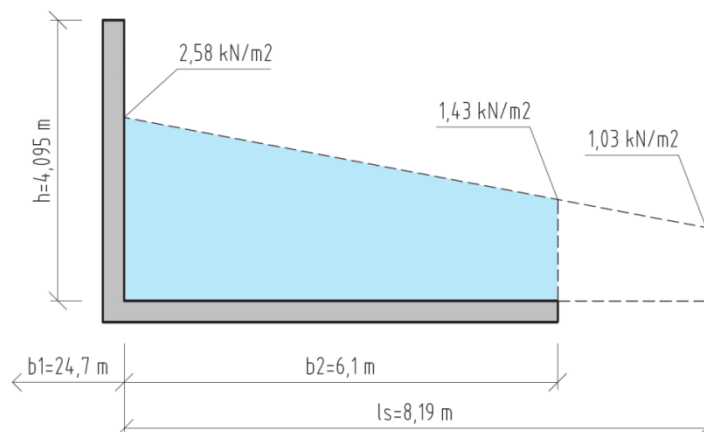
- Tvarový součinitel zatížení sněhem pro střechy přiléhající k vyšším stavbám:

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w = 0 + 2,0 = 2,0$$

- Zatížení sněhem na střeše:

$$s_{k,2} = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,29 = 2,58 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{d,2} = s_{k,2} \cdot \gamma_Q = 2,58 \cdot 1,5 = 3,87 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 9: Zatížení střechy (+8,390) sněhem

#### Zatížení střechy (+4,440) přiléhající k vyšším stavbám:

Část střechy přiléhající k vyšší stěně:

- Objemová tíha sněhu:  $\gamma = 2,0 \text{ kN/m}^3$

- Délka návěje:

$$l_s = 2 \cdot h = 2 \cdot 8,045 = 16,09 \text{ m}$$

- Tvarový součinitel zatížení sněhem zohledňující sesuv sněhu z horní střechy:

$$\mu_s = 0$$

- Tvarový součinitel zatížení sněhem zohledňující působení větru:

$$\mu_w = (b_1 + b_2)/2h \leq \gamma \cdot h/s_k$$

$$\mu_w = (24,7 + 6,1)/(2 \cdot 8,045) = 1,91 < 2,0 \cdot 8,045/1,29 = 12,47$$

- Tvarový součinitel zatížení sněhem pro střechy přiléhající k vyšším stavbám:

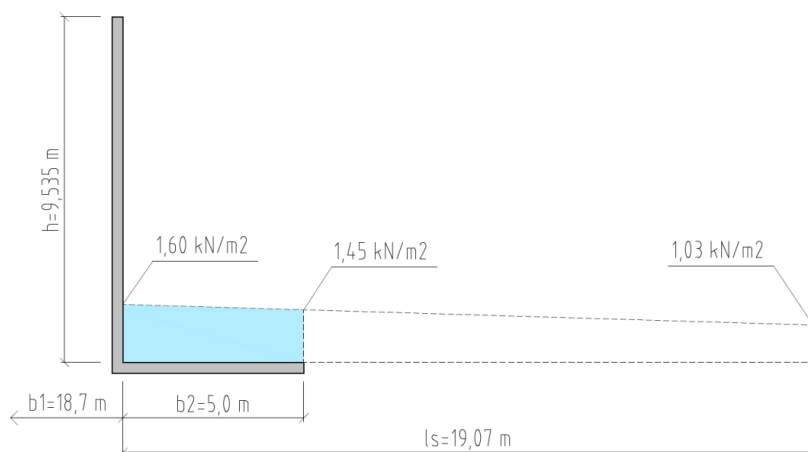
$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w = 0 + 1,91 = 1,91$$

- Zatížení sněhem na střeše:

$$s_{k,2} = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 1,91 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,29 = 2,46 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{d,2} = s_{k,2} \cdot \gamma_Q = 2,46 \cdot 1,5 = 3,7 \text{ kN/m}^2$$





Obr. 10: Zatížení střechy (+4,440) sněhem

Část střechy přiléhající k nižší stěně:

- Objemová tíha sněhu:  $\gamma = 2,0 \text{ kN/m}^3$
- Délka návěje:  

$$l_s = 2 \cdot h = 2 \cdot 4,095 = 8,19 \text{ m}$$
- Tvarový součinitel zatížení sněhem zohledňující sesuv sněhu z horní střechy:  

$$\mu_s = 0$$
- Tvarový součinitel zatížení sněhem zohledňující působení větru:  

$$\mu_w = (b_1 + b_2)/2h \leq \gamma \cdot h/s_k$$

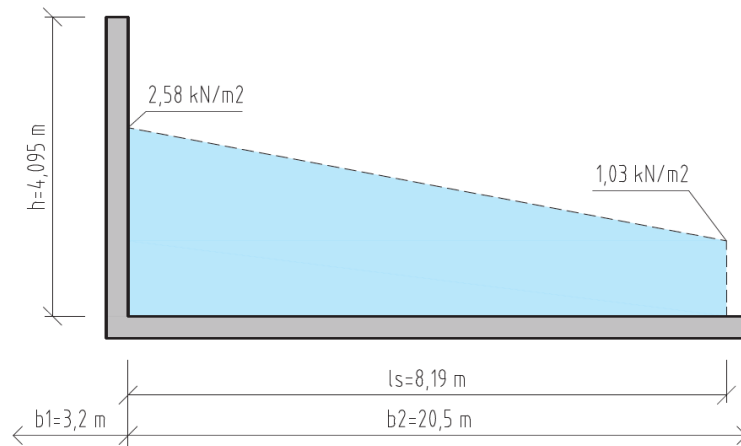
$$\mu_w = (3,2 + 20,5)/(2 \cdot 4,095) = 2,89 < 2,0 \cdot 4,095/1,29 = 6,35$$

$$\mu_w = 2,0 - \text{Maximální hodnota dle normy [3] pro sněhovou oblast I – IV}$$
- Tvarový součinitel zatížení sněhem pro střechy přiléhající k vyšším stavbám:  

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w = 0 + 2,0 = 2,0$$
- Zatížení sněhem na střeše:  

$$s_{k,2} = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,29 = 2,58 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{d,2} = s_{k,2} \cdot \gamma_Q = 2,58 \cdot 1,5 = 3,87 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 11: Zatížení střechy (+4,440) sněhem

### Zatížení střechy (+2,950) přiléhající k vyšším stavbám:

Část střechy přiléhající k vyšší stěně:

- Objemová tíha sněhu:  $\gamma = 2,0 \text{ kN/m}^3$
- Délka návěje:  

$$l_s = 2 \cdot h = 2 \cdot 9,535 = 19,07 \text{ m}$$
- Tvarový součinitel zatížení sněhem zohledňující sesuv sněhu z horní střechy:  

$$\mu_s = 0$$
- Tvarový součinitel zatížení sněhem zohledňující působení větru:  

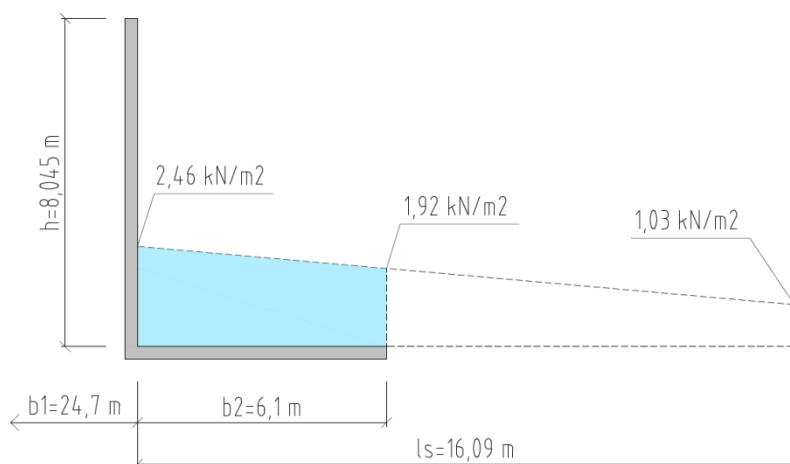
$$\mu_w = (b_1 + b_2)/2h \leq \gamma \cdot h/s_k$$

$$\mu_w = (18,7 + 5,0)/(2 \cdot 9,535) = 1,24 < 2,0 \cdot 9,535/1,29 = 14,78$$
- Tvarový součinitel zatížení sněhem pro střechy přiléhající k vyšším stavbám:  

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w = 0 + 1,24 = 1,24$$
- Zatížení sněhem na střeše:  

$$s_{k,2} = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 1,24 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,29 = 1,6 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{d,2} = s_{k,2} \cdot \gamma_Q = 1,6 \cdot 1,5 = 2,4 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 12: Zatížení střechy (+2,950) sněhem

Část střechy přiléhající k nižší stěně:

- Objemová tíha sněhu:  $\gamma = 2,0 \text{ kN/m}^3$
- Délka návěje:  

$$l_s = 2 \cdot h = 2 \cdot 1,635 = 3,27 \text{ m}$$
- Tvarový součinitel zatížení sněhem zohledňující sesuv sněhu z horní střechy:  

$$\mu_s = 0$$
- Tvarový součinitel zatížení sněhem zohledňující působení větru:  

$$\mu_w = (b_1 + b_2)/2h \leq \gamma \cdot h/s_k$$

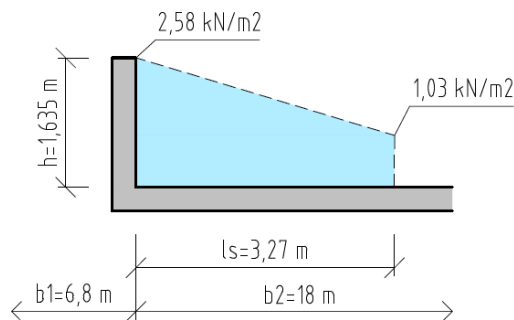
$$\mu_w = (6,8 + 18)/(2 \cdot 1,635) = 7,58 < 2,0 \cdot 1,635/1,29 = 2,53$$

$$\mu_w = 2,0 - \text{Maximální hodnota dle normy [3] pro sněhovou oblast I – IV}$$
- Tvarový součinitel zatížení sněhem pro střechy přiléhající k vyšším stavbám:  

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w = 0 + 2,0 = 2,0$$
- Zatížení sněhem na střeše:  

$$s_{k,2} = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,29 = 2,58 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{d,2} = s_{k,2} \cdot \gamma_Q = 2,58 \cdot 1,5 = 3,87 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 13: Zatížení střechy (+2,950) sněhem

### 3.2.4 Zatížení větrem

Dle mapy větrných oblastí se stavba nachází ve III. větrné oblasti s výchozí základní rychlostí větru 27,5 m/s. Terén je uvažován kategorie III, což je oblast rovnoměrně pokrytá vegetací nebo budovami. Podélný vítr je posuzován pouze z pravé strany, jelikož z levé strany stojí stávající hala.

#### Rychlost a tlak větru

- Výchozí základní rychlost větru:  $v_{b,0} = 27,5 \text{ m/s}$
- Součinitel směru větru:  $c_{dir} = 1$
- Součinitel ročního období:  $c_{season} = 1$
- Základní rychlost větru:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1 \cdot 1 \cdot 27,5 = 27,5 \text{ m/s}$$

- Parametr drsnosti terénu (terén kategorie III):  $z_0 = 0,3 \text{ m}$
- Minimální výška (terén kategorie III):  $z_{min} = 5 \text{ m}$
- Maximální výška:  $z_{max} = 200 \text{ m}$
- Parametr drsnosti terénu pro terén kategorie II:  $z_{0,II} = 0,05$
- Součinitel terénu:

$$k_r = 0,19 \cdot \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left( \frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = 0,215$$

- Referenční výška:  $z = 12,84 \text{ m}$

- Součinitel drsnosti terénu:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{12,85}{0,3}\right) = 0,809$$

- Součinitel ortografie:  $c_o(z) = 1$

- Součinitel turbulence:  $k_I = 1$

- Charakteristická střední rychlost větru:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0,809 \cdot 1 \cdot 27,5 = 22,25 \text{ m/s}$$

- Intenzita turbulence:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln \frac{z}{z_0}} = \frac{1}{1 \cdot \ln \frac{12,85}{0,3}} = 0,266$$

- Měrná hmotnost vzduchu:  $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

- Maximální dynamický tlak:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,266] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 22,25^2 \\ = 0,886 \text{ kN/m}^2$$

## Tlak větru na svislé stěny

### Příčný vítr

$$b = 24,7 \text{ m}$$

$$d = 18,7 \text{ m}$$

$$h = 12,84 \text{ m}$$

$$e = \min(b; 2h) = \min(24,7; 25,68) = 24,7 \text{ m}$$

$$h/d = 12,84/18,7 = 0,687$$

Součinitele vnějšího tlaku

$$c_{pe,10}^A = -1,2$$

$$c_{pe,10}^B = -0,8$$

$$c_{pe,10}^C = -0,5$$

$$c_{pe,10}^D = 0,76$$

$$c_{pe,10}^E = -0,42$$

Součinitele vnitřního tlaku

$$c_{pi,10}^+ = 0,2$$

$$c_{pi,10}^- = -0,3$$

## Výsledné tlaky

Pro součinitel vnitřního tlaku -  $c_{pi,10}^+ = 0,2$

$$w_k^A = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^A - c_{pi,10}^+) = 0,886 \cdot (-1,2 - 0,2) = -1,24 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^B = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^B - c_{pi,10}^+) = 0,886 \cdot (-0,8 - 0,2) = -0,89 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^C = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^C - c_{pi,10}^+) = 0,886 \cdot (-0,5 - 0,2) = -0,62 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^D = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^D - c_{pi,10}^+) = 0,886 \cdot (0,76 - 0,2) = 0,50 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^E = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^E - c_{pi,10}^+) = 0,886 \cdot (-0,42 - 0,2) = -0,55 \text{ kN/m}^2$$

Pro součinitel vnitřního tlaku -  $c_{pi,10}^- = -0,3$

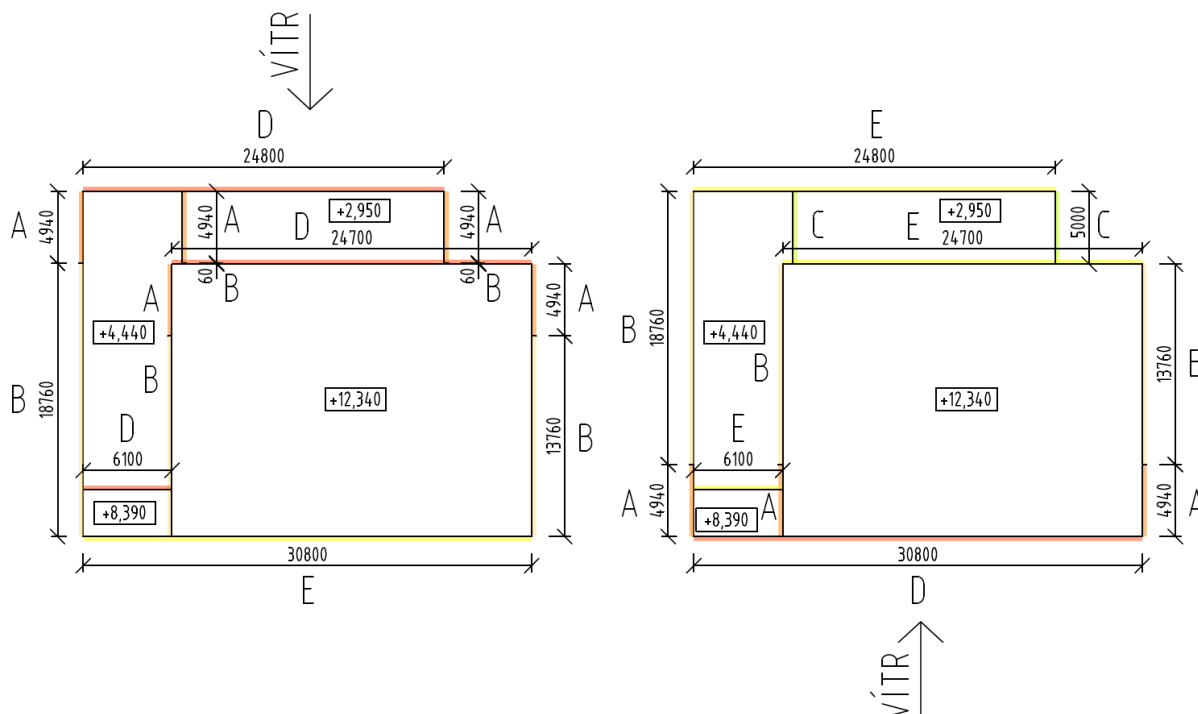
$$w_k^A = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^A - c_{pi,10}^-) = 0,886 \cdot (-1,2 - (-0,3)) = -0,80 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^B = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^B - c_{pi,10}^-) = 0,886 \cdot (-0,8 - (-0,3)) = -0,44 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^C = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^C - c_{pi,10}^-) = 0,886 \cdot (-0,5 - (-0,3)) = -0,18 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^D = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^D - c_{pi,10}^-) = 0,886 \cdot (0,76 - (-0,3)) = 0,94 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^E = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^E - c_{pi,10}^-) = 0,886 \cdot (-0,42 - (-0,3)) = -0,11 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 14: Tlak větru na svislé stěny – příčný vítr

## Podélný vítr

$$b = 18,7 \text{ m}$$

$$d = 24,7 \text{ m}$$

$$h = 12,84 \text{ m}$$

$$e = \min(b; 2h) = \min(18,7; 25,68) = 18,7 \text{ m}$$

$$h/d = 12,84/24,7 = 0,520$$

Součinitele vnějšího tlaku

Součinitele vnitřního tlaku

$$c_{pe,10}^A = -1,2$$

$$c_{pi,10}^+ = 0,2$$

$$c_{pe,10}^B = -0,8$$

$$c_{pi,10}^- = -0,3$$

$$c_{pe,10}^C = -0,5$$

$$c_{pe,10}^D = 0,74$$

$$c_{pe,10}^E = -0,37$$

## Výsledné tlaky

Pro součinitel vnitřního tlaku -  $c_{pi,10}^+ = 0,2$

$$w_k^A = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^A - c_{pi,10}^+) = 0,886 \cdot (-1,2 - 0,2) = -1,24 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^B = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^B - c_{pi,10}^+) = 0,886 \cdot (-0,8 - 0,2) = -0,89 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^C = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^C - c_{pi,10}^+) = 0,886 \cdot (-0,5 - 0,2) = -0,62 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^D = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^D - c_{pi,10}^+) = 0,886 \cdot (0,74 - 0,2) = 0,48 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^E = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^E - c_{pi,10}^+) = 0,886 \cdot (-0,37 - 0,2) = -0,51 \text{ kN/m}^2$$

Pro součinitel vnitřního tlaku -  $c_{pi,10}^- = -0,3$

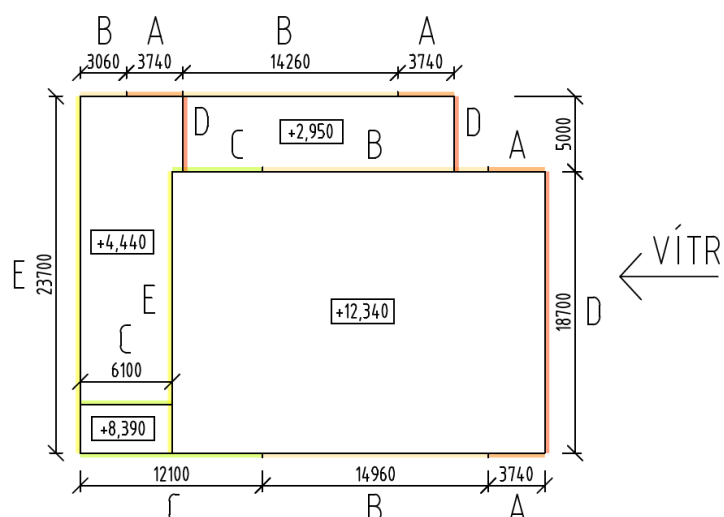
$$w_k^A = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^A - c_{pi,10}^-) = 0,886 \cdot (-1,2 - (-0,3)) = -0,80 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^B = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^B - c_{pi,10}^-) = 0,886 \cdot (-0,8 - (-0,3)) = -0,44 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^C = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^C - c_{pi,10}^-) = 0,886 \cdot (-0,5 - (-0,3)) = -0,18 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^D = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^D - c_{pi,10}^-) = 0,886 \cdot (0,74 - (-0,3)) = 0,92 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^E = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^E - c_{pi,10}^-) = 0,886 \cdot (-0,37 - (-0,3)) = -0,06 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 15: Tlak větru na svislé stěny – podélný vítr

## Tlak větru na střešní konstrukci

### Příčný vítr

$$b = 24,7 \text{ m}$$

$$d = 18,7 \text{ m}$$

$$h = 12,695 \text{ m}$$

$$h_p = 0,145 \text{ m}$$

$$e = \min(b; 2h) = \min(24,7; 25,39) = 24,7 \text{ m}$$

$$h_p/h = 0,145/12,695 = 0,011$$

Součinitele vnějšího tlaku

$$c_{pe,10}^F = -1,6$$

$$c_{pe,10}^G = -1,1$$

$$c_{pe,10}^H = -0,7$$

$$c_{pe,10}^{I-} = -0,2$$

$$c_{pe,10}^{I+} = 0,2$$

Součinitele vnitřního tlaku

$$c_{pi,10}^+ = 0,2$$

$$c_{pi,10}^- = -0,3$$



## Výsledné tlaky

Pro součinitel vnitřního tlaku -  $c_{pi,10}^+ = 0,2$

$$w_k^F = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^F - c_{pi,10}^+) = 0,886 \cdot (-1,6 - 0,2) = -1,59 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^G = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^G - c_{pi,10}^+) = 0,886 \cdot (-1,1 - 0,2) = -1,15 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^H = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^H - c_{pi,10}^+) = 0,886 \cdot (-0,7 - 0,2) = -0,80 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{I-} = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^{I-} - c_{pi,10}^+) = 0,886 \cdot (-0,2 - 0,2) = -0,35 \text{ kN/m}^2$$

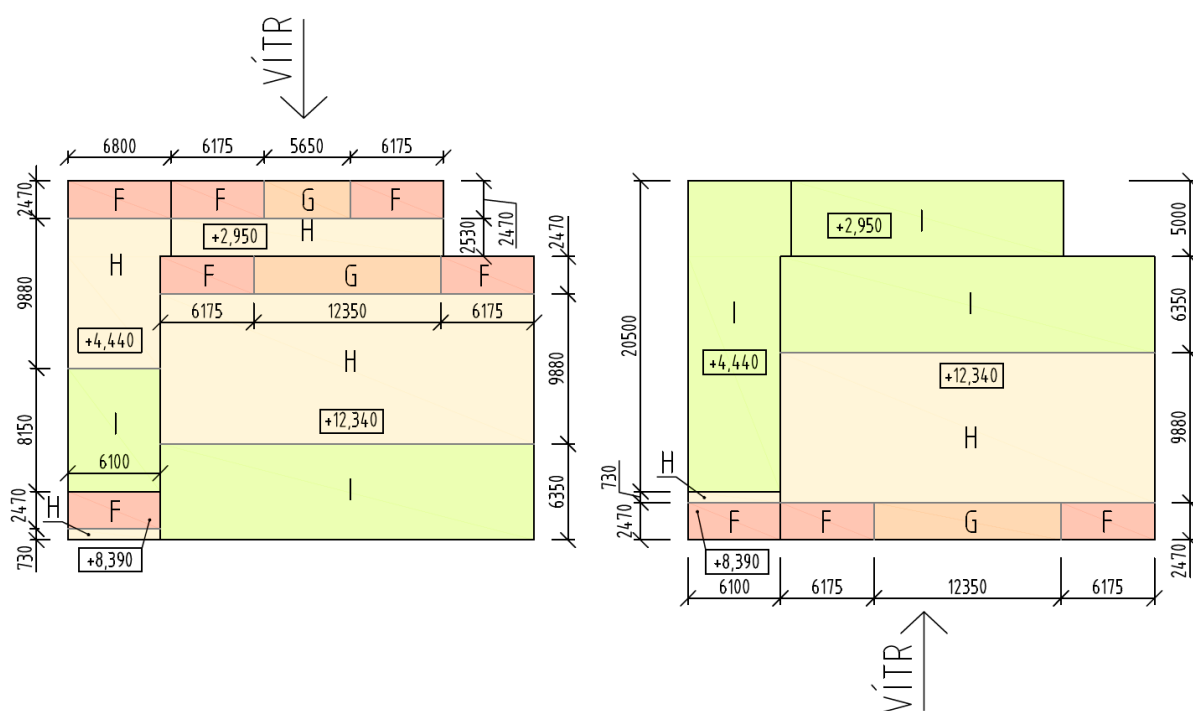
Pro součinitel vnitřního tlaku -  $c_{pi,10}^- = -0,3$

$$w_k^F = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^F - c_{pi,10}^-) = 0,886 \cdot (-1,6 - (-0,3)) = -1,15 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^G = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^G - c_{pi,10}^-) = 0,886 \cdot (-1,1 - (-0,3)) = -0,80 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^H = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^H - c_{pi,10}^-) = 0,886 \cdot (-0,7 - (-0,3)) = -0,35 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{I+} = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^{I+} - c_{pi,10}^-) = 0,886 \cdot (0,2 - (-0,3)) = 0,44 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 16: Tlak větru na střešní konstrukci – příčný vítr

## Podélný vítr

$$b = 18,7 \text{ m}$$

$$d = 24,7 \text{ m}$$

$$h = 12,695 \text{ m}$$

$$h_p = 0,145 \text{ m}$$

$$e = \min(b; 2h) = \min(18,7; 25,39) = 18,7 \text{ m}$$

$$h_p/h = 0,145/12,695 = 0,011$$

Součinitele vnějšího tlaku

Součinitele vnitřního tlaku

$$c_{pe,10}^F = -1,6$$

$$c_{pi,10}^+ = 0,2$$

$$c_{pe,10}^G = -1,1$$

$$c_{pi,10}^- = -0,3$$

$$c_{pe,10}^H = -0,7$$

$$c_{pe,10}^{I-} = -0,2$$

$$c_{pe,10}^{I+} = 0,2$$

## Výsledné tlaky

Pro součinitel vnitřního tlaku -  $c_{pi,10}^+ = 0,2$

$$w_k^F = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^F - c_{pi,10}^+) = 0,886 \cdot (-1,6 - 0,2) = -1,59 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^G = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^G - c_{pi,10}^+) = 0,886 \cdot (-1,1 - 0,2) = -1,15 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^H = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^H - c_{pi,10}^+) = 0,886 \cdot (-0,7 - 0,2) = -0,80 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{I-} = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^{I-} - c_{pi,10}^+) = 0,886 \cdot (-0,2 - 0,2) = -0,35 \text{ kN/m}^2$$

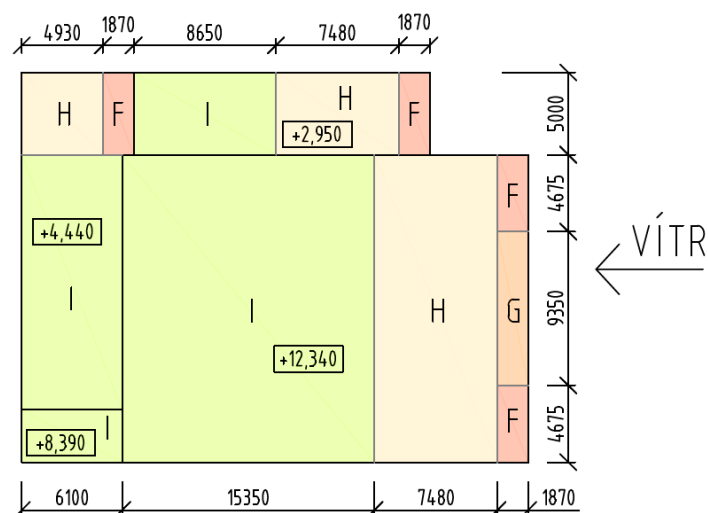
Pro součinitel vnitřního tlaku -  $c_{pi,10}^- = -0,3$

$$w_k^F = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^F - c_{pi,10}^-) = 0,886 \cdot (-1,6 - (-0,3)) = -1,15 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^G = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^G - c_{pi,10}^-) = 0,886 \cdot (-1,1 - (-0,3)) = -0,80 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^H = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^H - c_{pi,10}^-) = 0,886 \cdot (-0,7 - (-0,3)) = -0,35 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{I+} = q_p(z) \cdot (c_{pe,10}^{I+} - c_{pi,10}^-) = 0,886 \cdot (0,2 - (-0,3)) = 0,44 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 17: Tlak větru na střešní konstrukci – podélný vítr

### 3.3 Mimořádná zatížení

#### 3.3.1 Seizmické zatížení

Velké Meziříčí je město v okrese Žďár nad Sázavou, kde je dle mapy (obr. 18) referenční špičkové zrychlení  $a_{gR} = 0,00$  g. Seismicita tudíž není uvažována.

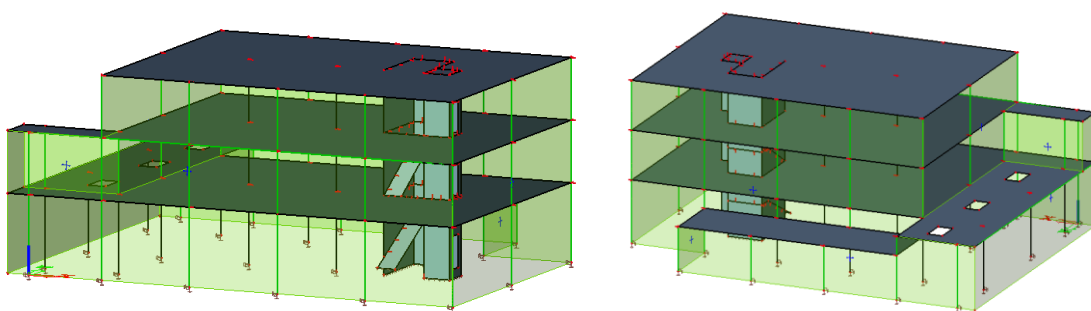


Obr. 18: Mapa seizmických oblastí České republiky [6]

## 4 Výpočet vnitřních sil

### 4.1 Výpočet počítačovým programem

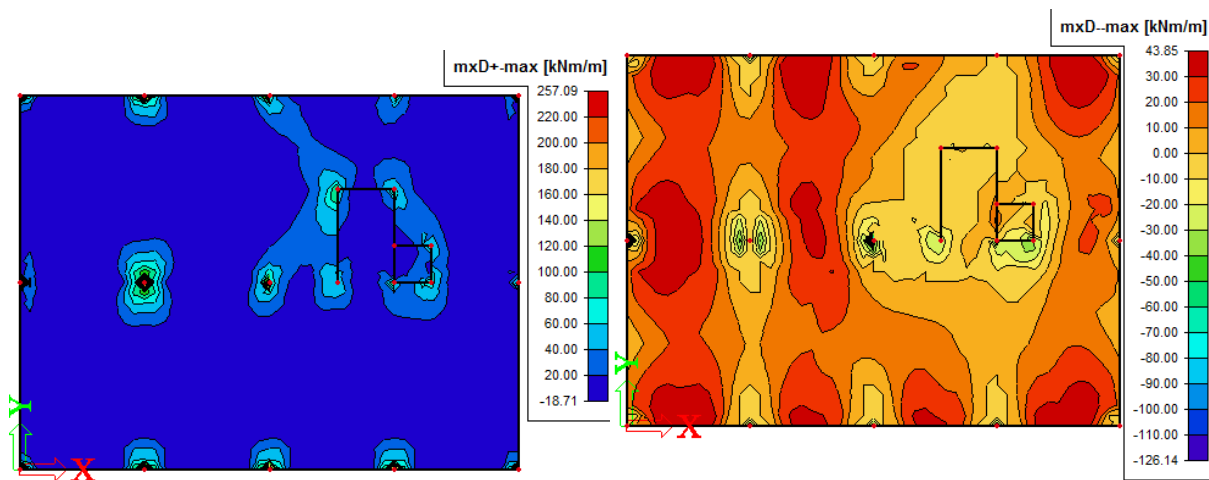
K výpočtu vnitřních sil je vytvořen 3D model v programu Scia Engineer 16 a je provedena lineárně pružná analýza. Kombinace jsou vytvořeny jak návrhové pro posouzení mezního stavu únosnosti (EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B), tak kvazistálé pro posouzení mezního stavu použitelnosti. Charakteristické kombinace zatížení nejsou potřeba, jelikož vzhledem k použitému betonu se stupněm vlivu prostředí XC, není potřeba konstrukci posoudit na omezení napětí.



Obr. 19: 3D model

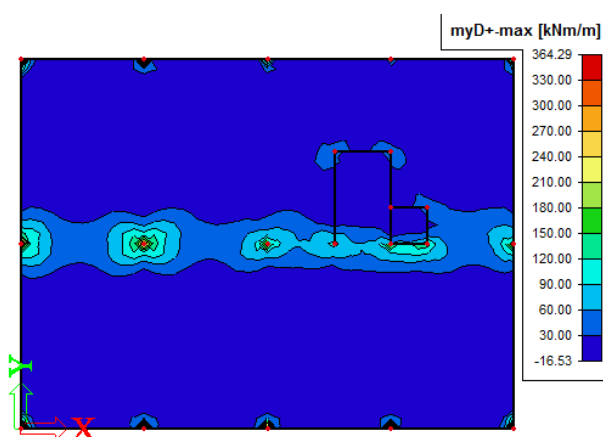
#### 4.1.1 Deska – lokálně podepřená (na úrovni +12,340)

##### Dimenzační momenty

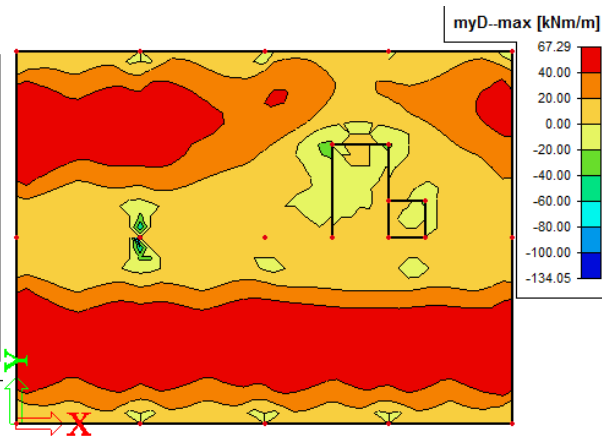


Obr. 20:  $m_{xD+}$

Obr. 21:  $m_{xD-}$



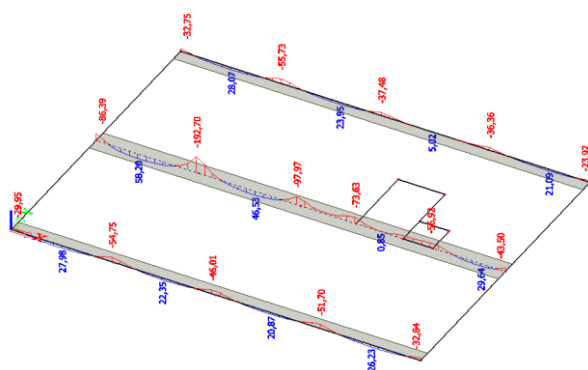
Obr. 22:  $m_{yD+}$



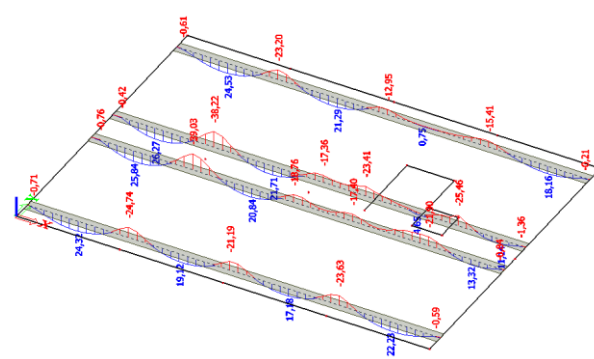
Obr. 23:  $m_{yD-}$

Jelikož v místech podepření vznikají špičky, které se odvíjejí od velikosti zvolené sítě konečných prvků, jsou pro získání dimenzačních momentů zadány integrační pásy. Díky integračním pásům je možné zobrazit výsledky na plochách jako na nosnících. Dle normy ČSN 73 1201 [7] je doporučeno, v případě použití metody konečných prvků k výpočtu vnitřních sil, vícestupňové rozdělení oblasti záporných momentů. Sloupový pruh šířky 3 m je tedy rozdělen dále na první sloupový pruh šířky 1,5 m, který se nachází přímo nad sloupem, a na druhý sloupový pruh šířky 0,75 m, který se nachází po obou stranách prvního sloupového pruhu. Střední pruh je posuzován jako jeden pruh, avšak vytvoření pruhu šířky 6 m by již zkreslovalo výsledky, proto je střední pruh rozdělen integračními pásy po jednom metru a následně je vybrána nejvyšší hodnota. Pro přehlednější zobrazení výsledků jsou na obrázku č. 26 a 27 vykresleny pouze integrační pásy nejbliž sloupovým pruhům, jelikož zde se nachází jak největší kladný, tak záporný moment z celé šířky středního pásu. Dimenzační momenty v okolí podepření desky ztužujícím jádrem jsou vykresleny následně.

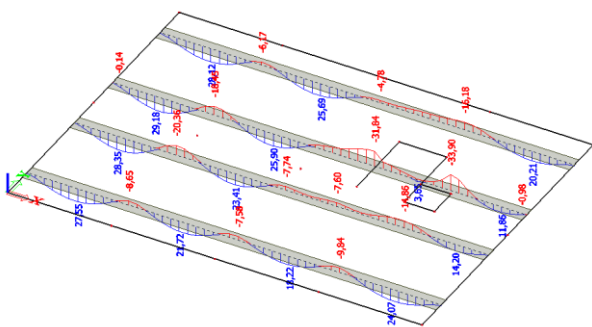
### Dimenzační momenty zjištěné pomocí integračních pásů



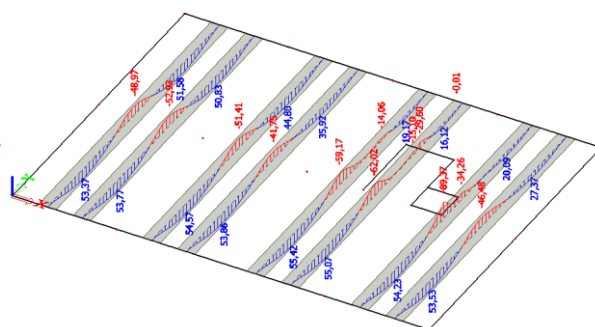
Obr. 24:  $M_x$  - sloupový 1



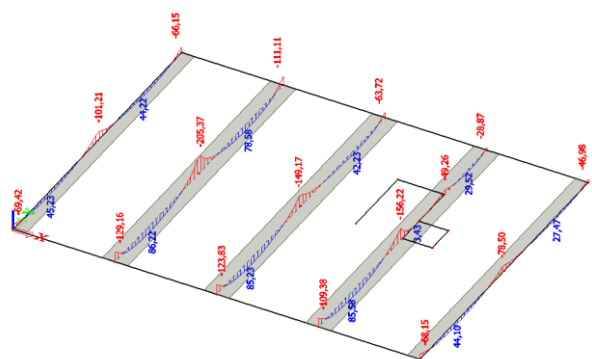
Obr. 25:  $M_x$  - sloupový 2



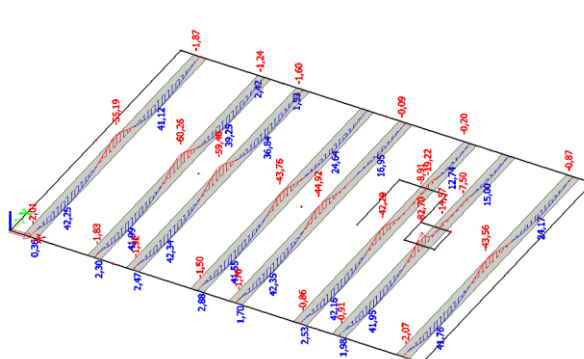
Obr. 26:  $M_x$  - střední



Obr. 27:  $M_y$  - střední



Obr. 28:  $M_y$  - sloupový 1



Obr. 29:  $M_y$  - sloupový 2

Dimenzační momenty zjištěné pomocí integračních pásů je dále potřeba podělit šířkou integračního pásu pro získání momentu na jeden metr šířky desky.

$$m_{Ed,x,sl1-} = -192,70/1,5 = -128,47 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed,x,sl1+} = 58,2/1,5 = 38,80 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed,x,sl2-} = -39,03/0,75 = -52,04 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed,x,stř-} = -20,36/1 = -20,36 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed,x,stř+} = 29,18/1 = 29,18 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed,y,sl1-} = -205,37/1,5 = -136,91 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed,y,sl1+} = 86,22/1,5 = 57,48 \text{ kNm/m}$$

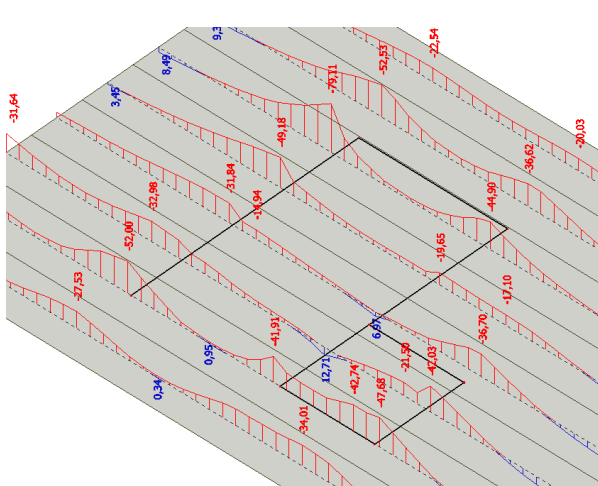
$$m_{Ed,y,sl2-} = -60,26/0,75 = -80,35 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed,y,stř-} = -52,93/1 = -52,93 \text{ kNm/m}$$

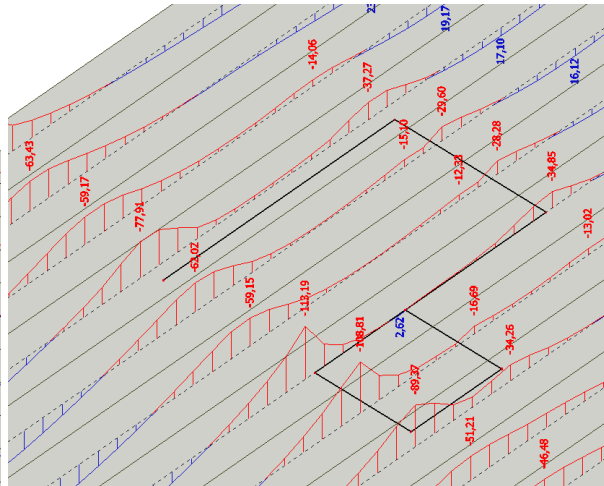
$$m_{Ed,y,stř+} = 55,42/1 = 55,42 \text{ kNm/m}$$

## Dimenzační momenty v okolí podepření ztužujícím jádrem

V okolí podepření desky ztužujícím jádrem jsou vytvořeny integrační pásy šířky jeden metr po jednom metru. Rozmístění výztuže je pak zřejmé z výkresu výztuže.



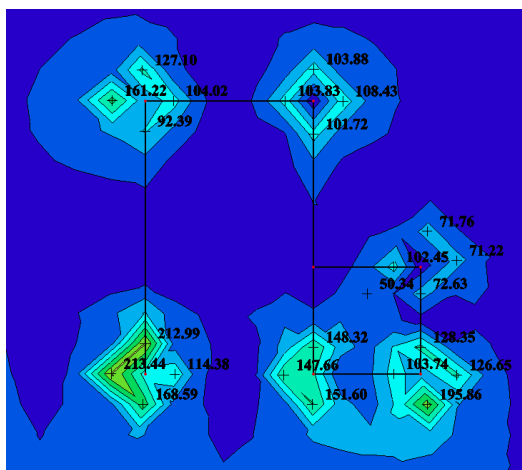
Obr. 30:  $M_x$



Obr. 31:  $M_y$

## Smykové síly

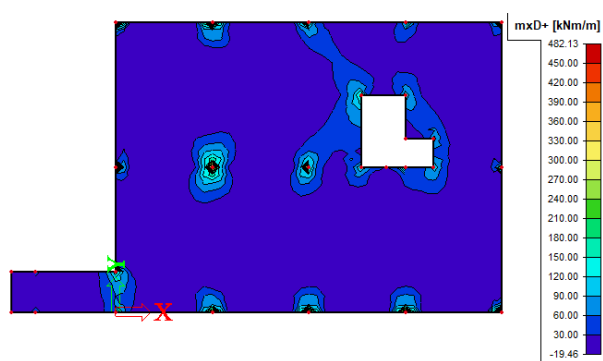
Smykové síly způsobují lokální protlačení desky kolem sloupů a na koncích a v rozích stěn. Pro výpočet protlačení a návrh výztuže v místě sloupů jsou jako posouvající síly použity normálové síly v hlavě sloupů. Pro výpočet protlačení a návrh výztuže na koncích a v rozích stěn jsou posouvající síly použity vnitřní síly na desce spočtené programem Scia Engineer.



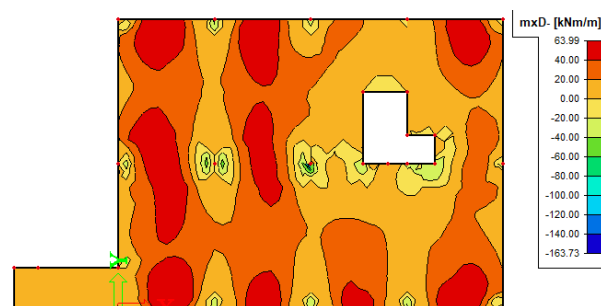
Obr. 32:  $V_d$  v místě podepření desky ztužujícím jádrem

#### 4.1.2 Deska – lokálně podepřená (na úrovni +8,390)

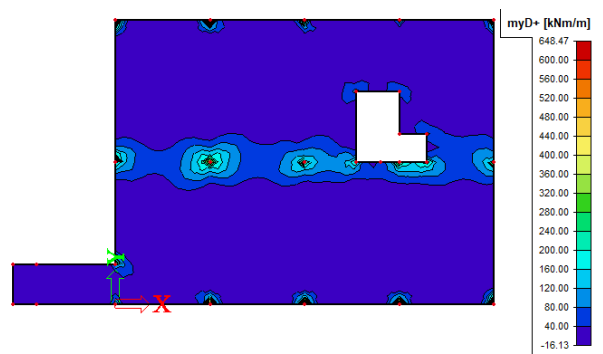
##### Dimenzační momenty



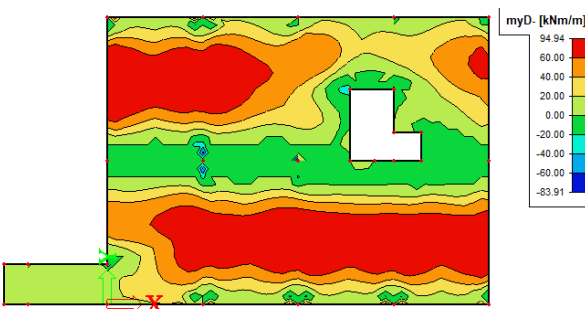
Obr. 33:  $m_{xD+}$



Obr. 34:  $m_{xD-}$



Obr. 35:  $m_{yD+}$

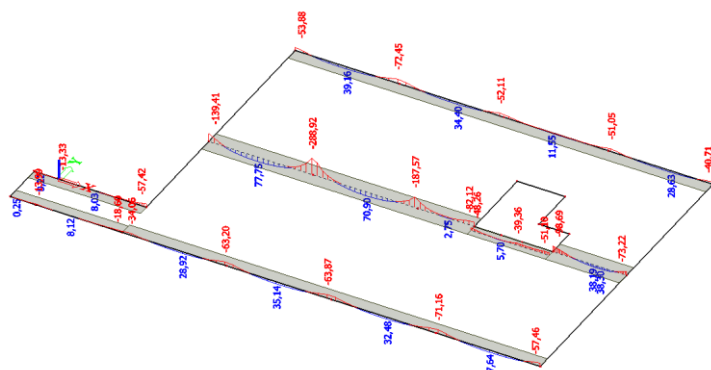


Obr. 36:  $m_{yD-}$

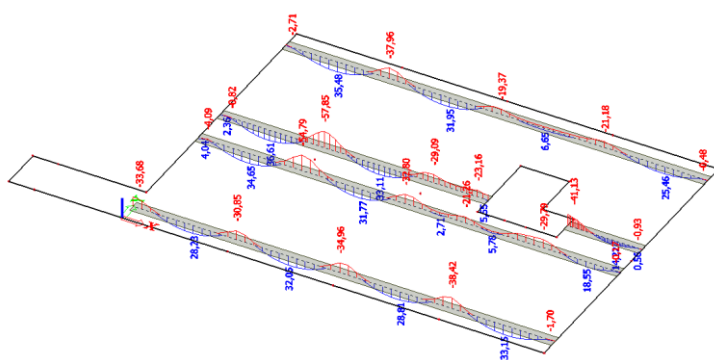
##### Dimenzační momenty zjištěné pomocí integračních pásů

Šířky integračních pásů jsou voleny stejné, jako na desce na úrovni +12,340 (viz 4.1.1), až na výčnělek mezi řadami sloupů 1 a 2. V této části sloupový pruh šířky 1,25 m není dále rozdělován do dvou pruhů. Střední pruh ve směru osy  $x$  je široký 1,25 m a ve směru osy  $y$  3,75 m.

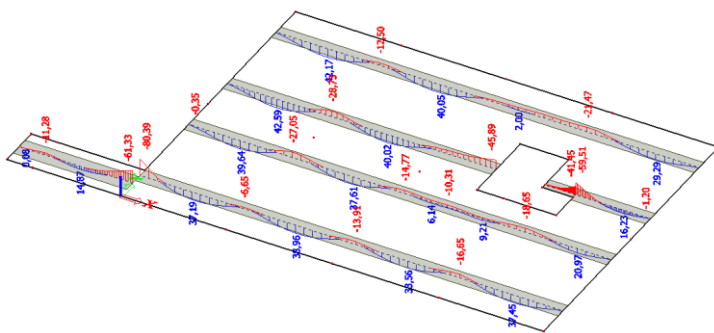




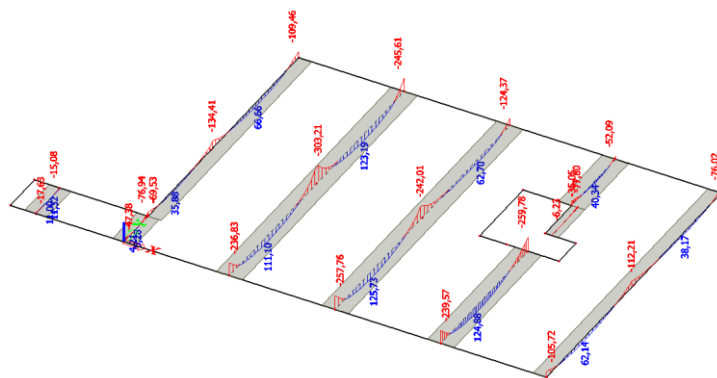
Obr. 37:  $M_x$  - sloupový 1



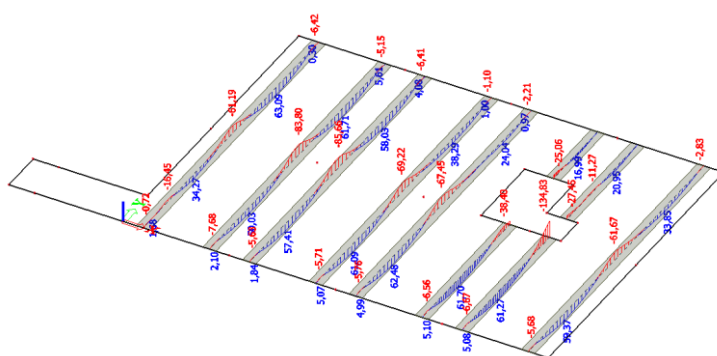
Obr. 38:  $M_x$  - sloupový 2



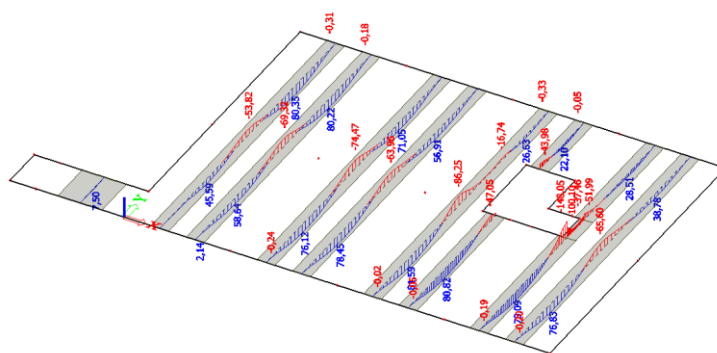
Obr. 39:  $M_x$  - střední



Obr. 40:  $M_y$  - sloupový 1



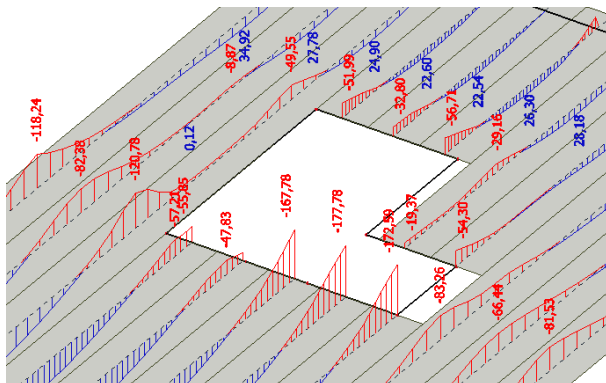
Obr. 41:  $M_y$  - sloupový 2



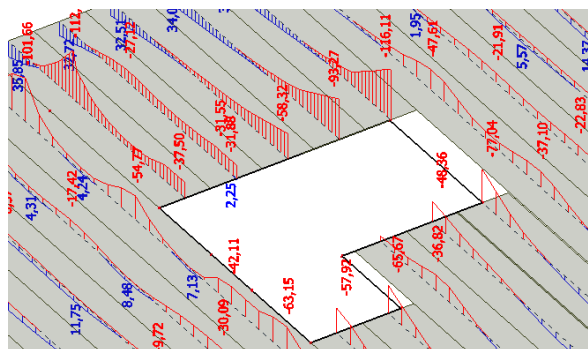
Obr. 42:  $M_y$  - střední

## Dimenzační momenty v okolí podepření ztužujícím jádrem

V okolí podepření desky ztužujícím jádrem jsou vytvořeny integrační pásy šířky jeden metr po jednom metru.



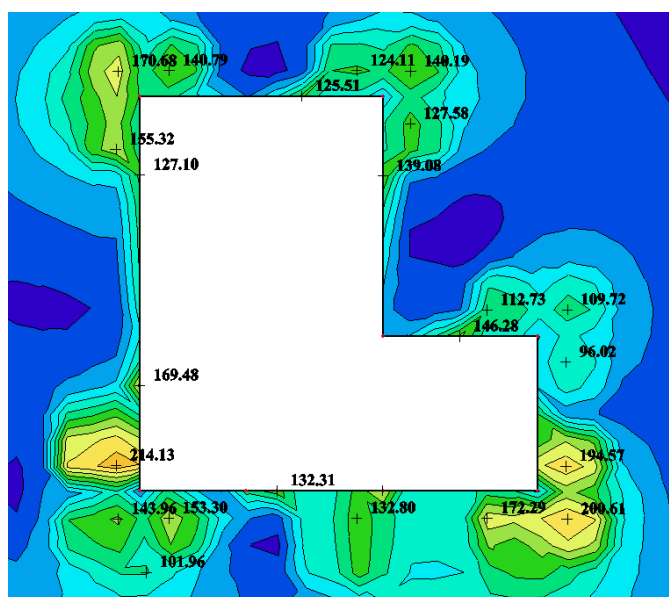
*Obr. 43:  $M_x$*



*Obr. 44:  $M_y$*

## Smykové síly

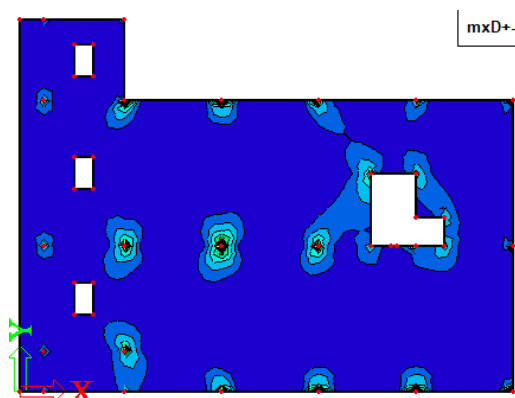
Smykové síly způsobují lokální protlačení desky kolem sloupů a na koncích a v rozích stěn. Pro výpočet protlačení a návrh výztuže v místě sloupů jsou jako posouvající síly použity normálové síly v hlavě sloupů. V místě, kde sloup pokračuje i nad deskou, je jako posouvající síla použit rozdíl v normálové síle v hlavě sloupu pod deskou a v normálové síle v patě sloupu nad deskou. Pro výpočet protlačení a návrh výztuže na koncích a v rozích stěn jsou posouvající síly použity vnitřní síly na desce spočtené programem Scia Engineer.



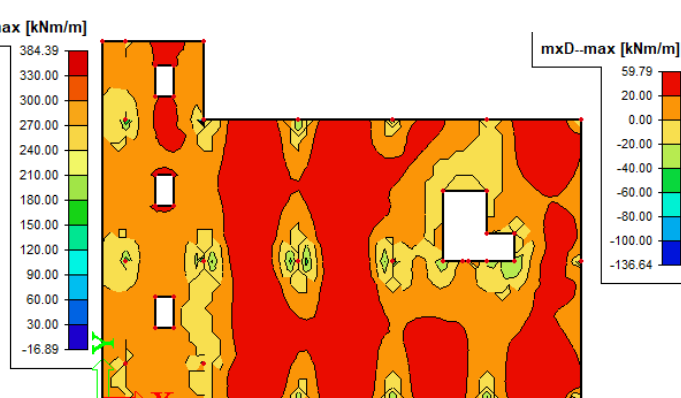
*Obr. 45:  $V_d$  v místě podepření desky ztužujícím jádrem*

### 4.1.3 Deska – lokálně podepřená (na úrovni +4,440)

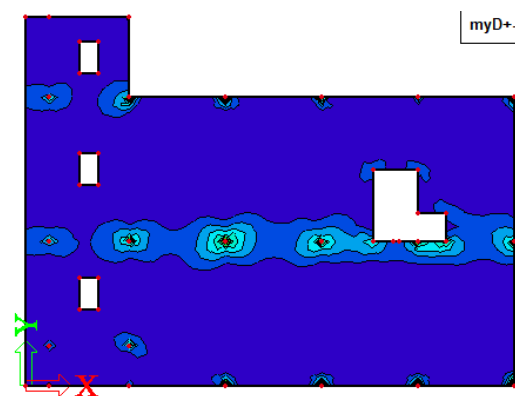
#### Dimenzační momenty



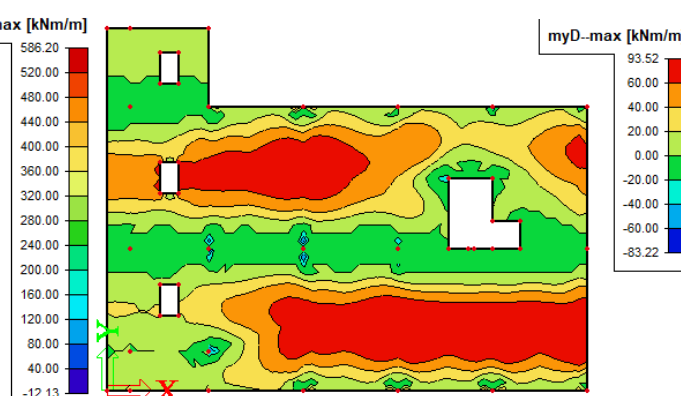
Obr. 46:  $m_{xD+}$



Obr. 47:  $m_{xD-}$



Obr. 48:  $m_{yD+}$

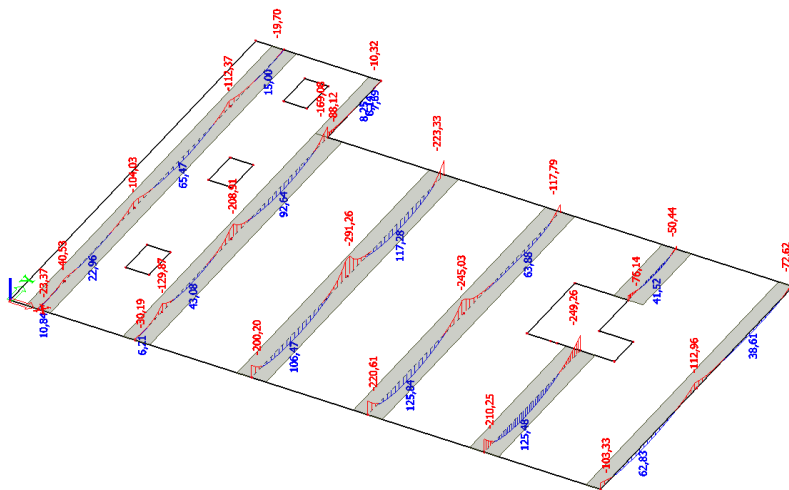


Obr. 49:  $m_{yD-}$

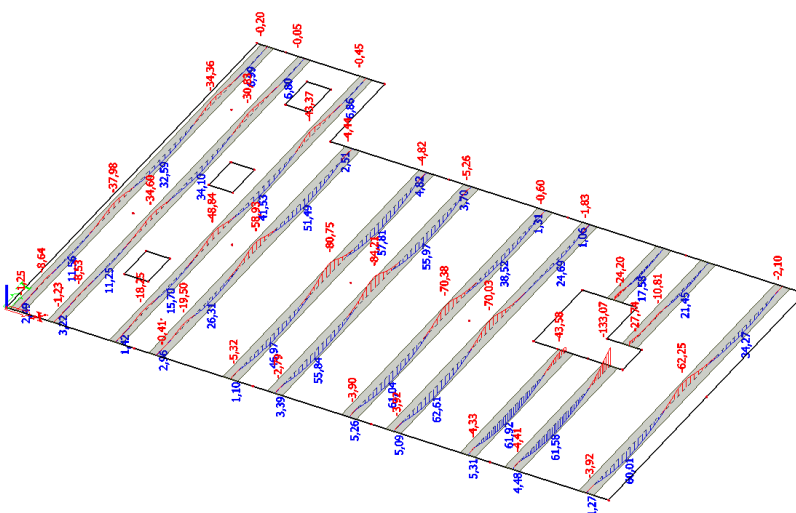
#### Dimenzační momenty zjištěné pomocí integračních pásů

Šířky integračních pásů jsou voleny stejné, jako na desce na úrovni +12,340 (viz 4.1.1), až na část desky mezi řadami sloupů 1 a 2. V této části sloupový pruh šířky 2,5 m je dále rozdělen na první sloupový pruh šířky 1,25 m a druhý sloupový pruh šířky 0,625 m, který se nachází po obou stranách prvního sloupového pruhu.

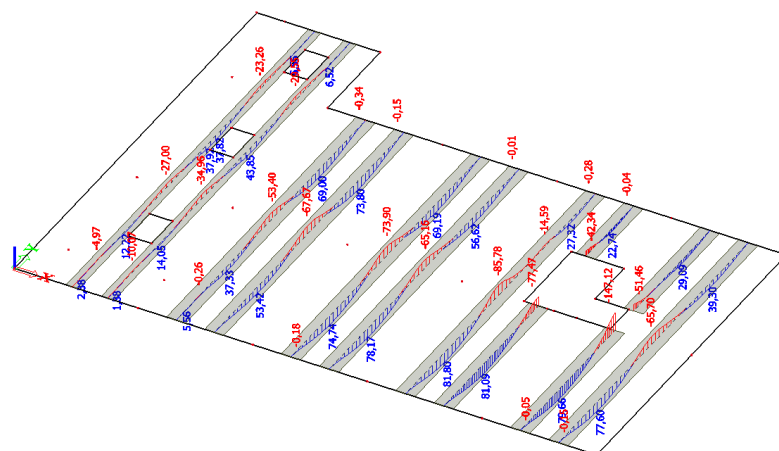




Obr. 53:  $M_y$  - sloupový 1



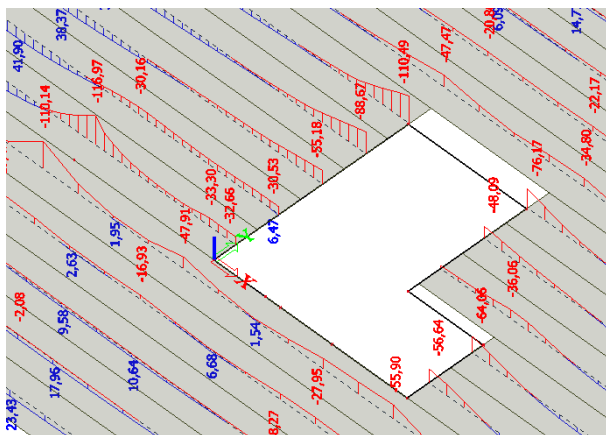
Obr. 54:  $M_y$  - sloupový 2



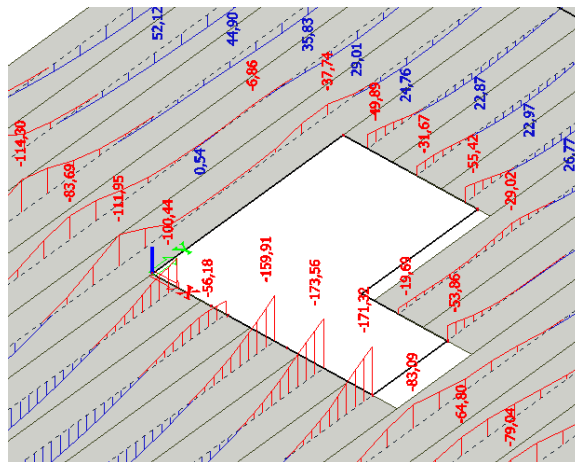
Obr. 55:  $M_y$  - střední

## Dimenzační momenty v okolí podepření ztužujícím jádrem

V okolí podepření desky ztužujícím jádrem jsou vytvořeny integrační pásy šířky jeden metr po jednom metru.



Obr. 56:  $M_x$



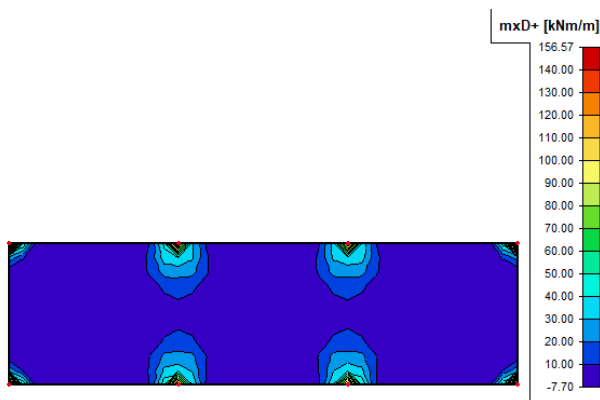
Obr. 57:  $M_y$

## Smykové síly

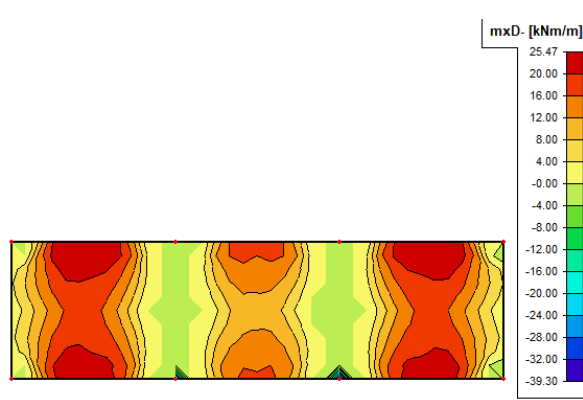
Vzhledem k tomu, že zatížení stropních desek 1.NP a 2.NP je stejné, budou i smykové síly v okolí ztužujícího jádra stejné (viz 4.1.2).

### 4.1.4 Deska – lokálně podepřená (na úrovni +2,950)

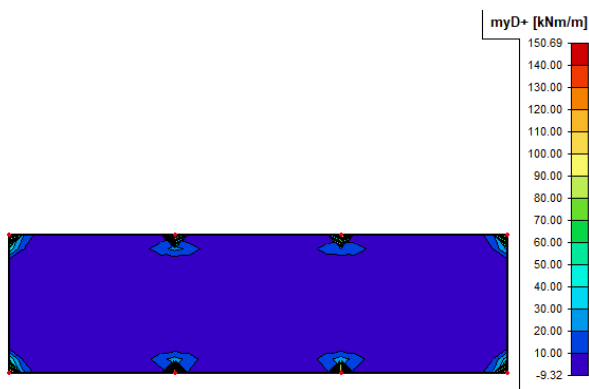
#### Dimenzační momenty



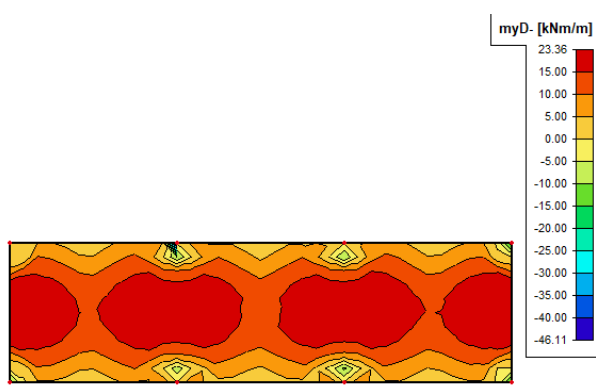
Obr. 58:  $m_{xD+}$



Obr. 59:  $m_{xD-}$



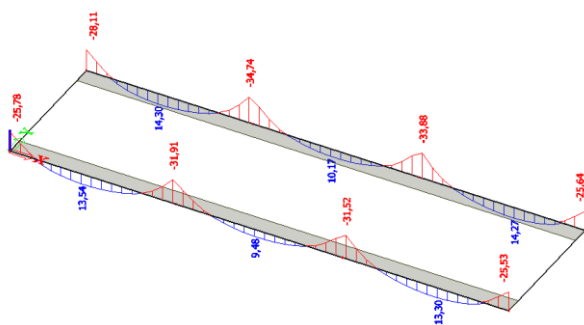
Obr. 60:  $m_{yD+}$



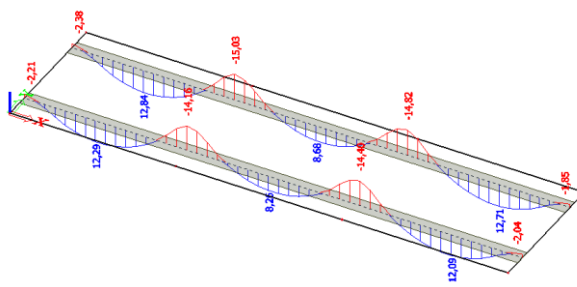
Obr. 61:  $m_{yD-}$

Dle normy ČSN 73 1201 [7] je doporučeno, v případě použití metody konečných prvků k výpočtu vnitřních sil, vícestupňové rozdělení oblasti záporných momentů. Sloupový pruh šířky 2,5 m je tedy rozdělen dále na první sloupový pruh šířky 1,25 m, který se nachází přímo nad sloupem, a na druhý sloupový pruh šířky 0,625 m, který se nachází po obou stranách prvního sloupového pruhu. Střední pruh je posuzován jako jeden pruh. Ve směru osy  $x$  je vytvořen integrační pás šířky 2,5 m, a ve směru osy  $y$  je vytvořen integrační pás šířky 3,5 m.

### Dimenzační momenty zjištěné pomocí integračních pásů

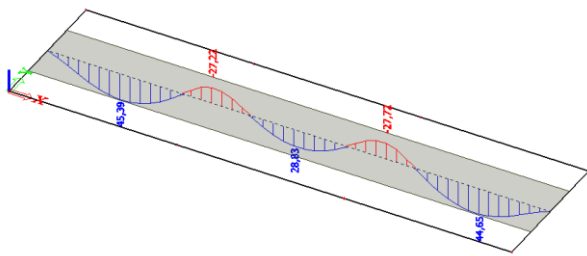


Obr. 62:  $M_x$  - sloupový 1

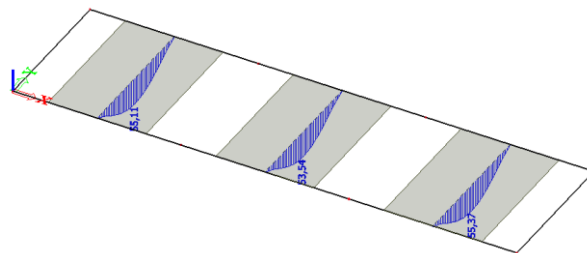


Obr. 63:  $M_x$  - sloupový 2

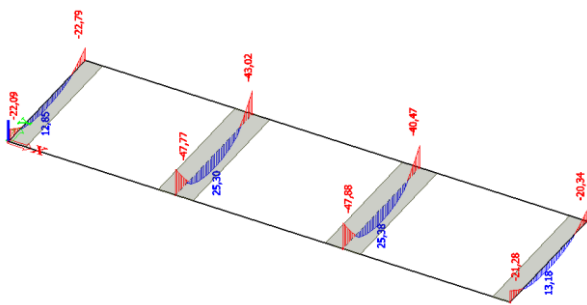




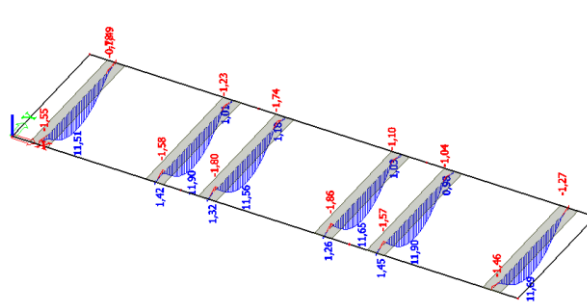
Obr. 64:  $M_x$  - střední



Obr. 65:  $M_y$  - střední



Obr. 66:  $M_y$  - sloupový 1



Obr. 67:  $M_y$  - sloupový 2

Dimenzační momenty zjištěné pomocí integračních pásů je dále potřeba podělit šířkou integračního pásu pro získání momentu na jeden metr šířky desky.

$$m_{Ed,x,sl1-} = -34,74/0,625 = -55,58 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed,x,sl1+} = 14,30/0,625 = 22,88 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed,x,sl2-} = -15,03/0,625 = -24,05 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed,x,stř-} = -27,72/2,5 = -11,09 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed,x,stř+} = 45,39/2,5 = 18,16 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed,y,sl1-} = -47,88/1,25 = -38,30 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed,y,sl1+} = 12,85/0,625 = 20,56 \text{ kNm/m}$$

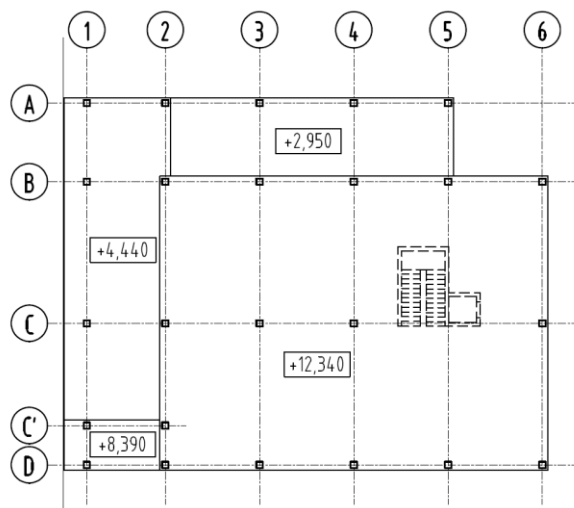
$$m_{Ed,y,stř+} = 55,37/3,5 = 15,82 \text{ kNm/m}$$

## Smykové síly

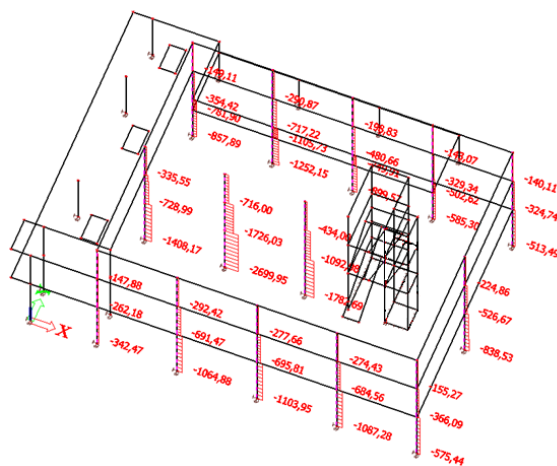
Smykové síly způsobují lokální protlačení desky kolem sloupů. Pro výpočet protlačení a návrh výztuže v místě sloupů jsou jako posouvající síly použity normálové síly v hlavě sloupů. V místě, kde sloup pokračuje i nad deskou, je jako posouvající síla použit rozdíl v normálové síle v hlavě sloupu pod deskou a v normálové síle v patě sloupu nad deskou.

#### 4.1.5 Sloupy S1 a S2 v řadách B2 – B6, C2 – C6, D2 – D6

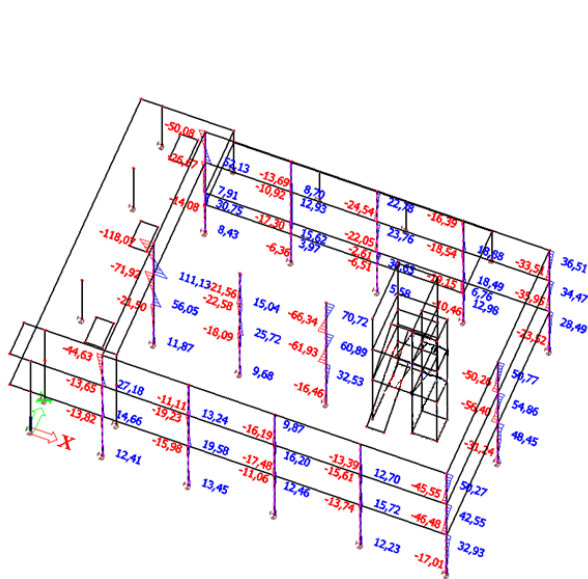
Sloupy jsou rozděleny podle výšky na sloupy S1 až S6. Sloupy S1 a S2 jsou výškově stejné, stejně tak jako sloupy S4 a S5. Liší se pouze tím, že sloupy S2 a S5 nesou zároveň i desku na úrovni +2,950 m.



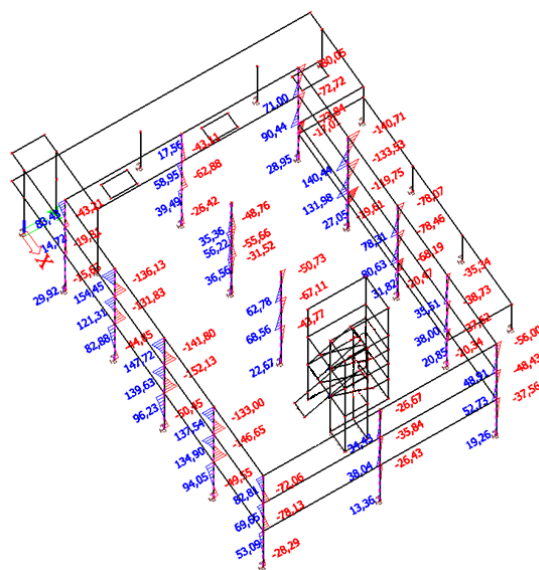
Obr. 68: Schéma osových řad



Obr. 69: N

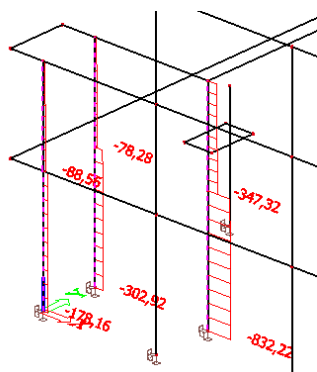


Obr. 70:  $M_y$

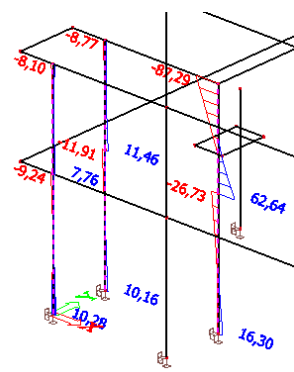


Obr. 71:  $M_z$

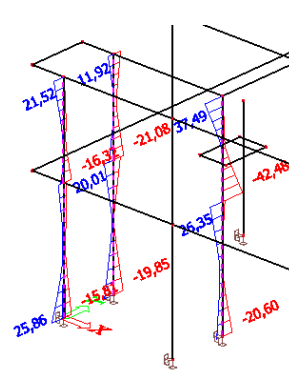
#### 4.1.6 Sloupy S3 v řadách C'1 - C'2 a D1



Obr. 72:  $N$

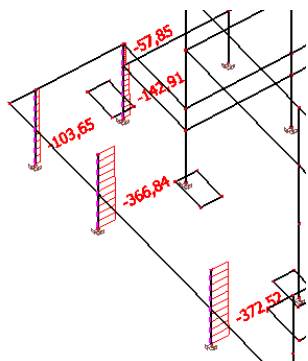


Obr. 73:  $M_y$

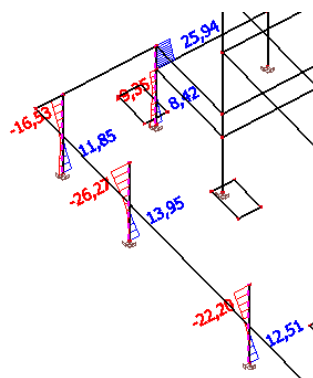


Obr. 74:  $M_z$

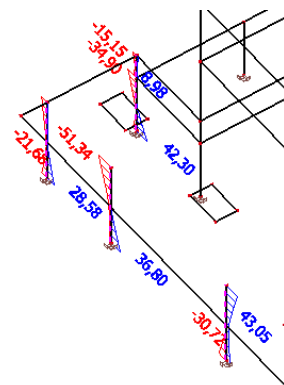
#### 4.1.7 Sloupy S4 a S5 v řadách A1 – A2, B1 a C1



Obr. 75:  $N$

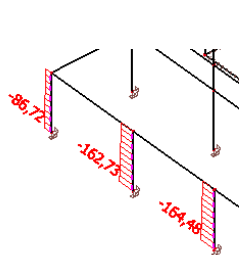


Obr. 76:  $M_y$

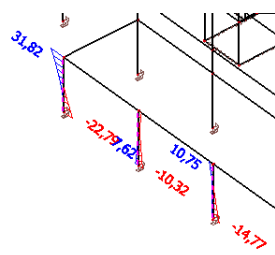


Obr. 77:  $M_z$

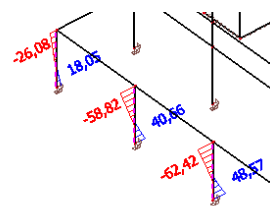
#### 4.1.8 Sloupy S6 v řadách A3 – A5



Obr. 78:  $N$



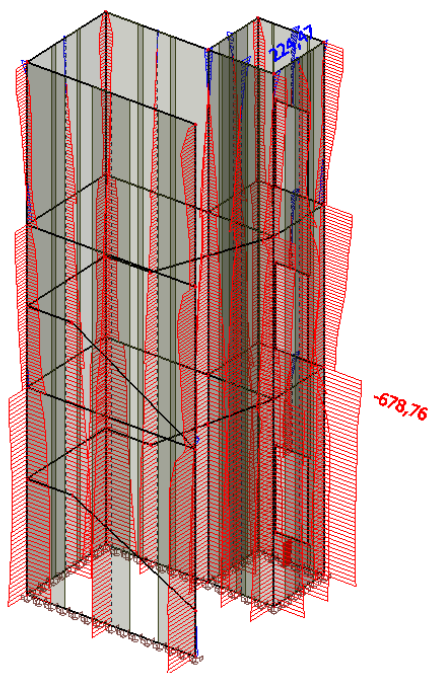
Obr. 79:  $M_y$



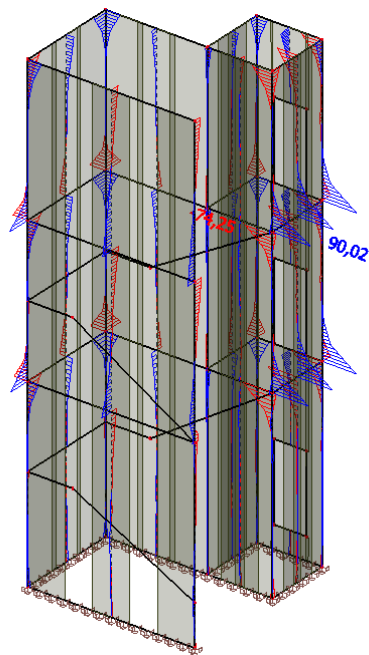
Obr. 80:  $M_z$

#### 4.1.9 Ztužující jádro

Na stěnách ztužujícího jádra jsou vytvořeny integrační pásy šířky 1 m. Integrační pásy jsou vloženy na koncích, v rozích a uprostřed stěn. Je vybrána největší normálová síla, a k ní příslušný ohybový moment a dále největší ohybový moment a k ní příslušná normálová síla. Na tyto hodnoty je dále navržena výztuž.



Obr. 81:  $N$



Obr. 82:  $M_y$

Vnitřní síly vypočtené lineární pružnou analýzou

$$N_{\max} = -678,76 \text{ kN}$$

$$M_{\text{přísl}} = 72,28 \text{ kNm}$$

$$M_{\max} = 90,02 \text{ kNm}$$

$$N_{\text{přísl}} = -57,48 \text{ kN}$$

## 4.2 Ruční výpočet

### 4.2.1 Schodiště

Schodiště je po straně vetknuté do ztužujícího jádra, tudíž je počítáno jako konzola.

- Rozpětí konzolově vyložené desky:

$$L = 1,2 \text{ m}$$

- Stálé a nahodilé zatížení:

$$g_d = 7,57 \text{ kN/m}^2$$

$$q_d = 6,0 \text{ kN/m}^2$$

- Ohybový moment ve vetknutí:

$$M_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot (g_d + q_d) \cdot L^2 = \frac{1}{2} \cdot (7,57 + 6,0) \cdot 1,2^2 = 9,77 \text{ kNm/m}$$

### 4.3 Kontrolní výpočet

Pro ověření vnitřních sil spočtených pomocí programu Scia Engineer, jsou spočteny vnitřní síly ručně zjednodušenými výpočetními metodami. Ručním výpočtem jsou spočteny vnitřní síly pouze na střešní desce, jelikož má na rozdíl od ostatních desek pravidelný obdélníkový tvar. V případě sloupu je spočtena maximální normálová síla v patě nejvíce zatíženého sloupu.

#### 4.3.1 Deska – lokálně podepřená (na úrovni +12,340)

Zjednodušené výpočetní metody je možno použít u deskových konstrukcí, pouze za předpokladu splnění těchto kritérií:

- ✓ Desková pole jsou pravoúhlá s poměrem rozpětí pole max. 2:1,
- ✓ Zatížení jsou pouze statická,
- ✓ Požadavek na poměrnou tuhost případných obvodových ztužujících trámů není potřeba posuzovat, jelikož na konstrukci nejsou obvodové ztužující trámy,
- ✓ Deska je ztužena ztužujícími prvky (jádro, stěny).

Vnitřní síly na desce jsou spočteny pomocí metody náhradních rámců. Metodu součtových momentů nelze použít, jelikož jedna z podmínek pro použití metody součtových momentů je, že v obou hlavních směrech musí být alespoň 3 desková pole. Ve směru y jsou ale pouze 2 desková pole.

#### Metoda náhradních rámců

- Rozpětí polí:

$$L_x = 6 \text{ m}$$

$$L_y = 9 \text{ m}$$

- Rozměry průřezu sloupu:

$$c_x = 0,4 \text{ m}$$

$$c_y = 0,4 \text{ m}$$

- Světla rozpětí polí:

$$L_{nx} = L_x - c_x = 6,0 - 0,40 = 5,6 \text{ m}$$

$$L_{ny} = L_y - c_y = 9,0 - 0,40 = 8,6 \text{ m}$$

- Stálé a nahodilé zatížení:

$$g_d = 9,76 \text{ kN/m}^2$$

$$q_d = s_{d,1} + w_d^{I+} = 1,55 + 0,66 = 2,21 \text{ kN/m}^2$$

- Šířky sloupových a mezisloupových pruhů:

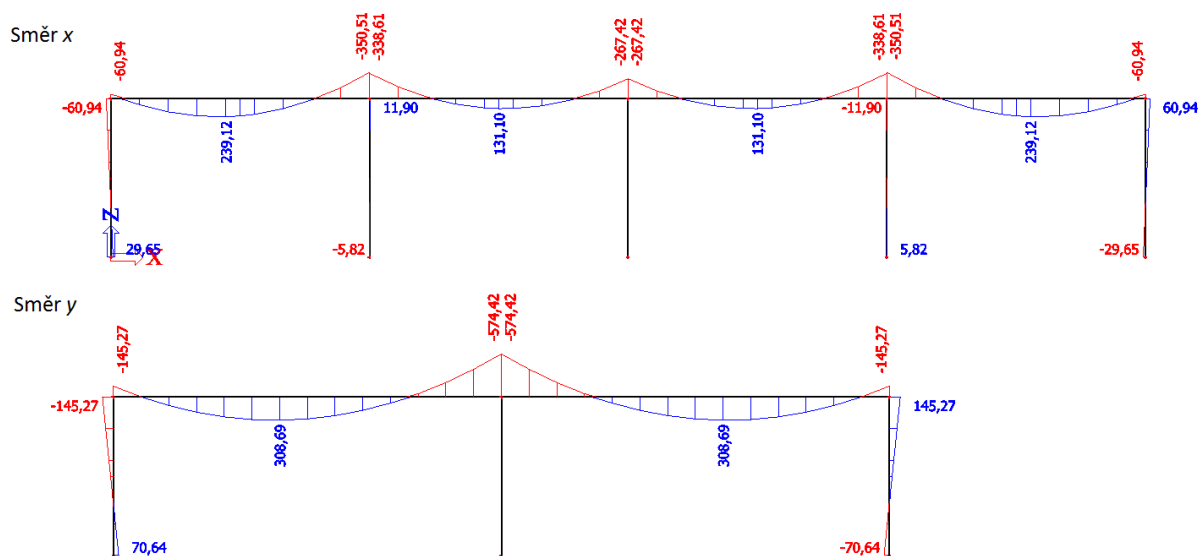
$$b_c = \frac{\min(L_x; L_y)}{2} = \frac{6}{2} = 3 \text{ m}$$

$$b_{Mx} = L_y - b_c = 9 - 3 = 6 \text{ m}$$

$$b_{My} = L_x - b_c = 6 - 3 = 3 \text{ m}$$

Výpočet vnitřních sil:

Výpočet vnitřních sil na rámu je proveden pomocí programu Scia Engineer. V patách sloupů je uvažováno vetknutí. Pro ověření vnitřních sil je dále použit výpočet totálního momentu, který se používá ve zjednodušené metodě součtových momentů, kterou ale pro tuto stavbu nelze použít z důvodu omezující podmínky minimálního počtu třech polí v každém směru.



Obr. 83: Momenty spočteny pomocí metody náhradních rámtů

Ověření totálních momentů

Směr x:

$$M_{TOT,x} = \frac{1}{8} \cdot (g_d + q_d) \cdot L_y \cdot L_{nx}^2 = \frac{1}{8} \cdot (9,76 + 2,21) \cdot 9 \cdot 5,6^2 = 422,30 \text{ kNm}$$

$$M_x^+ = 0,35 \cdot M_{TOT,x} = 0,35 \cdot 422,30 = 147,81 \text{ kNm}$$

$$M_x^- = 0,65 \cdot M_{TOT,x} = 0,65 \cdot 422,30 = 274,50 \text{ kNm}$$

Směr y:

$$M_{TOT,y} = \frac{1}{8} \cdot (g_d + q_d) \cdot L_x \cdot L_{ny}^2 = \frac{1}{8} \cdot (9,76 + 2,21) \cdot 6 \cdot 8,6^2 = 663,98 \text{ kNm}$$

$$M_y^+ = 0,35 \cdot M_{TOT,y} = 0,35 \cdot 663,98 = 232,39 \text{ kNm}$$

$$M_y^- = 0,65 \cdot M_{TOT,y} = 0,65 \cdot 663,98 = 431,59 \text{ kNm}$$

Ohybové momenty na deskovém pásu ve směru osy x:

$$M_{xc}^+ = 0,6 \cdot M_x^+ = 0,6 \cdot 239,12 = 143,47 \text{ kNm}$$

$$M_{xM}^+ = 0,4 \cdot M_x^+ = 0,4 \cdot 239,12 = 95,65 \text{ kNm}$$

$$M_{xc}^- = 0,75 \cdot M_x^- = 0,75 \cdot 350,51 = 262,88 \text{ kNm}$$

$$M_{xM}^- = 0,25 \cdot M_x^- = 0,25 \cdot 350,51 = 87,63 \text{ kNm}$$



$$m_{xc}^+ = \frac{M_{xc}^+}{b_c} = \frac{143,47}{3} = 47,82 \text{ kNm/m}$$

$$m_{xM}^+ = \frac{M_{xM}^+}{b_{Mx}} = \frac{95,65}{6} = 15,94 \text{ kNm/m}$$

$$m_{xc}^- = \frac{M_{xc}^-}{b_c} = \frac{262,88}{3} = 87,63 \text{ kNm/m}$$

$$m_{xM}^- = \frac{M_{xM}^-}{b_{Mx}} = \frac{87,63}{6} = 14,61 \text{ kNm/m}$$

Ohybové momenty na deskovém pásu ve směru osy y:

$$M_{yc}^+ = 0,6 \cdot M_y^+ = 0,6 \cdot 308,69 = 185,21 \text{ kNm}$$

$$M_{yM}^+ = 0,4 \cdot M_y^+ = 0,4 \cdot 308,69 = 123,48 \text{ kNm}$$

$$M_{yc}^- = 0,75 \cdot M_y^- = 0,75 \cdot 574,42 = 430,82 \text{ kNm}$$

$$M_{yM}^- = 0,25 \cdot M_y^- = 0,25 \cdot 574,42 = 143,61 \text{ kNm}$$

$$m_{yc}^+ = \frac{M_{yc}^+}{b_c} = \frac{185,21}{3} = 61,74 \text{ kNm/m}$$

$$m_{yM}^+ = \frac{M_{yM}^+}{b_{My}} = \frac{123,48}{3} = 41,16 \text{ kNm/m}$$

$$m_{yc}^- = \frac{M_{yc}^-}{b_c} = \frac{430,82}{3} = 143,61 \text{ kNm/m}$$

$$m_{yM}^- = \frac{M_{yM}^-}{b_{My}} = \frac{143,61}{3} = 47,87 \text{ kNm/m}$$

#### 4.3.2 Sloup

- Rozpětí polí:

$$L_x = 6 \text{ m}$$

$$L_y = 9 \text{ m}$$

- Návrhové stálé a nahodilé zatížení 1. stropní konstrukce:

$$f_{1d} = 11,66 + 5,85 = 17,51 \text{ kN/m}^2$$

- Návrhové stálé a nahodilé zatížení 2. stropní konstrukce:

$$f_{2d} = 11,66 + 5,85 = 17,51 \text{ kN/m}^2$$

- Návrhové stálé a nahodilé zatížení 3. stropní konstrukce:

$$f_{3d} = 9,76 + 1,55 + 0,66 = 11,97 \text{ kN/m}^2$$

- Návrhové stálé zatížení sloupu:

$$F_s = b \cdot b \cdot h \cdot \gamma \cdot \gamma_g = 0,4 \cdot 0,4 \cdot 12,115 \cdot 25 \cdot 1,35 = 65,421 \text{ kN}$$

- Normálová síla v patě sloupu:

$$N_{Ed} = (f_{1d} + f_{2d} + f_{3d}) \cdot L_x \cdot L_y + F_s = (17,51 + 17,51 + 11,97) \cdot 6 \cdot 9 + 65,421 \\ = 2602,88 \text{ kN}$$

## 4.4 Kontrola vnitřních sil

### 4.4.1 Deska – lokálně podepřená (na úrovni +12,340)

V tabulce 10 a 11 je uvedeno srovnání, a z výsledků je zřejmé, že hodnoty výpočtu počítačovým programem a hodnoty ručního výpočtu se řádově shodují. Rozdíly ve výsledcích jsou kromě toho, že metoda náhradních rámců je pouze zjednodušená metoda, způsobeny také tím, že sloupový záporný moment nad podporou je v případě výpočtu metodou náhradních rámců rozdělen na jeden pruh šířky 3 m, zatímco v případě výpočtu metodou konečných prvků pomocí programu Scia Engineer je stejný pruh rozdělen dále na 2 pruhy.

	Scia Engineer	Metoda náhradních rámců
$m_{Ed,x,sl-}$	$-128,47 \text{ kNm/m}$	$-87,63 \text{ kNm/m}$
$m_{Ed,x,sl+}$	$38,80 \text{ kNm/m}$	$47,82 \text{ kNm/m}$
$m_{Ed,x,stř-}$	$-20,36 \text{ kNm/m}$	$-14,61 \text{ kNm/m}$
$m_{Ed,x,stř+}$	$29,18 \text{ kNm/m}$	$15,94 \text{ kNm/m}$

Tab.10: Porovnání vnitřních sil na desce ve směru x

	Scia Engineer	Metoda náhradních rámců
$m_{Ed,y,sl-}$	$-136,91 \text{ kNm/m}$	$-143,61 \text{ kNm/m}$
$m_{Ed,y,sl+}$	$57,48 \text{ kNm/m}$	$61,74 \text{ kNm/m}$
$m_{Ed,y,stř-}$	$-52,93 \text{ kNm/m}$	$-47,87 \text{ kNm/m}$
$m_{Ed,y,stř+}$	$55,42 \text{ kNm/m}$	$41,16 \text{ kNm/m}$

*Tab.11: Porovnání vnitřních sil na desce ve směru y*

## 2.4.2 Sloup

U sloupu jsou porovnány výsledky normálových sil v patě středního sloupu.

	Scia Engineer	Ruční výpočet
$N_{Ed}$	$-2699,95 \text{ kN}$	$-2602,88 \text{ kN}$

*Tab.12: Porovnání vnitřních sil na sloupu*

## 5 Návrh a posouzení výztuže

### 5.1 Deska – lokálně podepřená (na úrovni +12,340)

#### 5.1.1 Mezní stav únosnosti

##### Krytí

Deska se nachází uvnitř budovy a je chráněna proti povětrnostním vlivům, proto je navržena z betonu C30/37 se stupněm vlivu prostředí XC1. Návrhová životnost konstrukce třídy S4 je 50 let.

- Průměr výztuže:  $\varnothing = 14 \text{ mm}$
- Minimální krycí vrstva z hlediska soudržnosti:  $c_{min,b} = 14 \text{ mm}$
- Minimální krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí:  $c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$
- Přídavná bezpečnostní složka:  $\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$
- Redukce minimální krycí vrstvy při použití nerezové oceli:

$$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$$

- Redukce minimální krycí vrstvy při použití přídavné ochrany:

$$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

- Minimální krycí vrstva:

$$\begin{aligned} c_{min} &= \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\} \\ &= \max\{14; 15; 10 \text{ mm}\} = 15 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Toleranční zvětšení:  $\Delta c_{dev} = 5 - 10 \text{ mm}$
- Nominální krycí vrstva:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 15 + 5 = 20 \text{ mm}$$

##### Ohyb - základní rastr sítě

Pro desku je navržen základní rastr sítě s přihlédnutím ke konstrukčním zásadám pro vyztužování železobetonové deskové konstrukce. Místa na desce, která překračují moment únosnosti takto vyztužené desky jsou dále posouzena a doplněna výztuží vykrývající zbylý moment. Samozřejmostí je zatažení výztuže dále, mimo kladný, popřípadě záporný moment, o kotevní délku. Základní rastr je navržen z vázané výztuže  $\varnothing 14/300 \text{ mm}$  v obou

směrech. Výztuž pro doplnění je použita Ø6, Ø10 a Ø14 mm. Jsou vybrány průměry ob jednu velikost z důvodu eliminace chyb na staveništi, kde by hrozilo zaměnění prutů s podobným průměrem. Větší návrhové momenty se nacházejí ve směru  $y$ , tudíž výztuž blíže povrchu je uvažována ve směru  $y$ .

### Ohyb - základní rastr sítě ve směru osy $x$

- Účinná výška průřezu ve směru  $x$ :

$$d_{x,14} = h - c_{nom} - \frac{3}{2} \cdot \phi_{14} = 275 - 20 - \frac{3}{2} \cdot 14 = 234 \text{ mm}$$

- Skutečná plocha výztuže:

$$A_{s,r} = \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{14}^2}{4} = \frac{1000}{300} \cdot \frac{\pi \cdot 14^2}{4} = 513 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Síla ve výztuži:

$$F_s = A_{s,r} \cdot f_{yd} = 513 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 223,04 \text{ kN}$$

- Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{223,04 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0139 \text{ m}$$

- Moment únosnosti průřezu:

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d_{x,14} - 0,4 \cdot x) = 223,04 \cdot (0,234 - 0,4 \cdot 0,0139) = 50,95 \text{ kNm/m}$$

$$\mathbf{m_{Rd} = 50,95 \text{ kNm/m}}$$

### Konstrukční zásady

- Omezení množství výztuže:

$$A_{s,min} = \max \left\{ \frac{0,26 \cdot f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d_{x,14} \right. \left. \frac{2,9}{500} \cdot 1 \cdot 0,234 \right\} = \max \left\{ \frac{0,0013 \cdot b \cdot d_{x,14}}{0,0013 \cdot 1 \cdot 0,234} \right\} = 353 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min,CSN} = \max \left\{ \frac{0,0018 \cdot f_{yk}}{500} \cdot b \cdot d_{x,14} \right. \left. \frac{500}{500} \cdot 1 \cdot 0,234 \right\} = \max \left\{ \frac{0,0014 \cdot b \cdot d_{x,14}}{0,0014 \cdot 1 \cdot 0,234} \right\} = 421 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,275 = 11000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 353 \cdot 10^{-6} m^2 < A_{s,r} = 513 \cdot 10^{-6} m^2 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$A_{s,min,CSN} = 421 \cdot 10^{-6} m^2 < A_{s,r} = 513 \cdot 10^{-6} m^2 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$A_{s,max} = 11000 \cdot 10^{-6} m^2 > A_{s,r} = 1026 \cdot 10^{-6} m^2 \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Maximální osová vzdálenost výztuže:

$$s_{os,max} = \min \left\{ \frac{2 \cdot h}{300 \text{ mm}} \right\} = \min \left\{ \frac{2 \cdot 275}{300} \right\} = 300 \text{ mm}$$

$$s_{os,max} = 300 \text{ mm} = s_{os,skut} = 300 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_{sv,min} = \max \left\{ \frac{1,2 \cdot \phi_{max}}{d_g + 5 \text{ mm}} \right\} = \left\{ \frac{1,2 \cdot 14}{22 + 5} \right\} = 27 \text{ mm}$$

$$s_{sv,skut} = s_{os,skut} - \phi_{14} = 300 - 14 = 286 \text{ mm}$$

$$s_{sv,min} = 27 \text{ mm} < s_{sv,skut} = 286 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Omezení výšky tlačené oblasti:

$$\xi = \frac{x}{d_{x,14}} = \frac{0,0139}{0,234} = 0,059$$

$$\xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

$$\xi_{bal} = 0,617 > \xi = 0,059 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### Ohyb - základní rastr sítě ve směru osy y

- Účinná výška průřezu ve směru y:

$$d_{y,14} = h - c_{nom} - \frac{1}{2} \cdot \phi_{14} = 275 - 20 - \frac{1}{2} \cdot 14 = 248 \text{ mm}$$

- Skutečná plocha výztuže:

$$A_{s,r} = \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{14}^2}{4} = \frac{1000}{300} \cdot \frac{\pi \cdot 14^2}{4} = 513 \cdot 10^{-6} m^2$$

- Síla ve výztuži:

$$F_s = A_{s,r} \cdot f_{yd} = 513 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 223,04 \text{ kN}$$

- Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{223,04 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0139 \text{ m}$$

- Moment únosnosti průřezu:

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d_{y,14} - 0,4 \cdot x) = 223,04 \cdot (0,248 - 0,4 \cdot 0,0139) = 54,07 \text{ kNm/m}$$

$$\mathbf{m_{Rd} = 54,07 \text{ kNm/m}}$$

Konstrukční zásady

- Omezení množství výztuže:

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d_{y,14} \\ 0,0013 \cdot b \cdot d_{y,14} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 1 \cdot 0,248 \\ 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,248 \end{array} \right\}$$

$$= 374 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min,CSN} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,0018 \cdot \frac{f_{yk}}{500} \cdot b \cdot d_{y,14} \\ 0,0014 \cdot b \cdot d_{y,14} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,0018 \cdot \frac{500}{500} \cdot 1 \cdot 0,248 \\ 0,0014 \cdot 1 \cdot 0,248 \end{array} \right\}$$

$$= 446 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,275 = 11000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\mathbf{A_{s,min} = 374 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < A_{s,r} = 513 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

$$\mathbf{A_{s,min,CSN} = 446 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < A_{s,r} = 513 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

$$\mathbf{A_{s,max} = 11000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_{s,r} = 1026 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

- Maximální osová vzdálenost výztuže:

$$s_{os,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2 \cdot h \\ 300 \text{ mm} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2 \cdot 275 \\ 300 \end{array} \right\} = 300 \text{ mm}$$

$$\mathbf{s_{os,max} = 300 \text{ mm} = s_{os,skut} = 300 \text{ mm}} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

- Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_{sv,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot \phi_{max} \\ d_g + 5 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot 14 \\ 22 + 5 \\ 20 \end{array} \right\} = 27 \text{ mm}$$

$$s_{sv,skut} = s_{os,skut} - \phi_{14} = 300 - 14 = 286 \text{ mm}$$

$$s_{sv,min} = 27 \text{ mm} < s_{sv,skut} = 286 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

- Omezení výšky tlačené oblasti:

$$\xi = \frac{x}{d_{y,14}} = \frac{0,0139}{0,248} = 0,056$$

$$\xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

$$\xi_{bal} = 0,617 > \xi = 0,056$$

**VYHOVUJE**

Podmínka minimálního množství výztuže vyhoví pro všechny další posudky, jelikož vyhovuje už pro základní navržený rastr výztuže. Také podmínka maximální osově vzdálenosti již nebude dále posuzována.

### **Ohyb - doplňující výztuž**

Místa, kde ohybový moment překračuje únosnost průřezu vyztuženého pruty  $\phi 14/300$  mm je použita doplňující výztuž, která vykrývá zbylý moment. Výztuž pro doplnění je použita  $\phi 6$ ,  $\phi 10$  a  $\phi 14$  mm. Mezery v základním rastru jsou doplněny o jeden prut  $\phi 6$ , jeden prut  $\phi 10$  a o jeden nebo dva pruty  $\phi 14$ . Dva pruty  $\phi 6$  a  $\phi 10$  použity nejsou, jelikož například místo dvou prutů  $\phi 10$  je již výhodnější použít jeden prut  $\phi 14$ . Z důvodu, že podepření desky ztužujícím jádrem ovlivňuje dimenzační momenty ve skoro polovině desky, a posouzení každého jednotlivého extrému by bylo zbytečně rozsáhlé, jsou spočteny momenty únosnosti průřezů doplněné o jeden prut  $\phi 6$ , jeden prut  $\phi 10$  a o jeden a dva pruty  $\phi 14$  a to jak ve směru osy  $x$ , tak i ve směru osy  $y$ . Rozmístění výztuže je pak zřejmé z výkresu výztuže.



### Ohyb - základní rastr doplněný o 1 prut Ø6 ve směru osy $x$

Ø14/300 mm + Ø6/300 mm – Do každé mezery v základním rastru se vloží 1 prut Ø6.

- Plocha výztuže Ø6:

$$A_{s,6} = \frac{1}{s_6} \cdot \frac{\pi \cdot \phi_6^2}{4} = \frac{1000}{300} \cdot \frac{\pi \cdot 6^2}{4} = 94 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Plocha výztuže Ø14:

$$A_{s,14} = A_{s,r} = 513 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Skutečná celková plocha výztuže:

$$A_s = A_{s,6} + A_{s,14} = 607 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

#### Posudek

- Síla ve výztuži:

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 607 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 263,91 \text{ kN}$$

- Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{263,91 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0165 \text{ m}$$

- Účinná výška průřezu ve směru  $x$  pro prut Ø6:

$$d_{x,6} = h - c_{nom} - \phi_{14} - \frac{1}{2} \cdot \phi_6 = 275 - 20 - 14 - \frac{1}{2} \cdot 6 = 238 \text{ mm}$$

- Průměrná účinná výška průřezu:

$$d_{prům} = \frac{d_{x,6} \cdot A_{s,6} + d_{x,14} \cdot A_{s,14}}{A_s} = \frac{0,238 \cdot 94 \cdot 10^{-6} + 0,234 \cdot 513 \cdot 10^{-6}}{607 \cdot 10^{-6}} \\ = 234,6 \text{ mm}$$

- Moment únosnosti průřezu:

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d_{prům} - 0,4 \cdot x) = 263,91 \cdot (0,2346 - 0,4 \cdot 0,0165) = 60,17 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Rd} = \mathbf{60,17 \text{ kNm/m}}$$

## Konstrukční zásady

- Omezení množství výztuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,275 = 11000 \cdot 10^{-6} m^2$$

$$A_{s,max} = 11000 \cdot 10^{-6} m^2 > A_s = 1214 \cdot 10^{-6} m^2 \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_{sv,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot \phi_{max} \\ d_g + 5 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot 14 \\ 22 + 5 \\ 20 \end{array} \right\} = 27 \text{ mm}$$

$$s_{sv,skut} = s_{os,skut} - \frac{1}{2} \cdot \phi_{14} - \frac{1}{2} \cdot \phi_6 = 150 - \frac{1}{2} \cdot 14 - \frac{1}{2} \cdot 6 = 140 \text{ mm}$$

$$s_{sv,min} = 27 \text{ mm} < s_{sv,skut} = 140 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Omezení výšky tlačené oblasti:

$$\xi = \frac{x}{d_{prům}} = \frac{0,0165}{0,2346} = 0,070$$

$$\xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

$$\xi_{bal} = 0,617 > \xi = 0,070 \quad \text{VYHOVUJE}$$

## Ohyb - základní rastr doplněný o 1 prut Ø10 ve směru osy x

Ø14/300 mm + Ø10/300 mm – Do každé mezery v základním rastru se vloží 1 prut Ø10.

- Plocha výztuže Ø10:

$$A_{s,10} = \frac{1}{s_{10}} \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{10}^2}{4} = \frac{1000}{300} \cdot \frac{\pi \cdot 10^2}{4} = 262 \cdot 10^{-6} m^2$$

- Plocha výztuže Ø14:

$$A_{s,14} = A_{s,r} = 513 \cdot 10^{-6} m^2$$

- Skutečná celková plocha výztuže:

$$A_s = A_{s,10} + A_{s,14} = 775 \cdot 10^{-6} m^2$$

## Posudek

- Síla ve výztuži:

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 775 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 336,95 \text{ kN}$$

- Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{336,95 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0211 \text{ m}$$

- Účinná výška průřezu ve směru  $x$  pro prut  $\emptyset 10$ :

$$d_{x,10} = h - c_{nom} - \emptyset_{14} - \frac{1}{2} \cdot \emptyset_{10} = 275 - 20 - 14 - \frac{1}{2} \cdot 10 = 236 \text{ mm}$$

- Průměrná účinná výška průřezu:

$$\begin{aligned} d_{prům} &= \frac{d_{x,10} \cdot A_{s,10} + d_{x,14} \cdot A_{s,14}}{A_s} = \frac{0,236 \cdot 262 \cdot 10^{-6} + 0,234 \cdot 513 \cdot 10^{-6}}{775 \cdot 10^{-6}} \\ &= 234,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Moment únosnosti průřezu:

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d_{prům} - 0,4 \cdot x) = 336,95 \cdot (0,2347 - 0,4 \cdot 0,0211) = 76,24 \text{ kNm/m}$$

$$\mathbf{m_{Rd} = 76,24 \text{ kNm/m}}$$

## Konstrukční zásady

- Omezení množství výztuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,275 = 11000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\mathbf{A_{s,max} = 11000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_s = 1550 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

- Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_{sv,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot \emptyset_{max} \\ d_g + 5 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot 14 \\ 22 + 5 \\ 20 \end{array} \right\} = 27 \text{ mm}$$

$$s_{sv,skut} = s_{os,skut} - \frac{1}{2} \cdot \emptyset_{14} - \frac{1}{2} \cdot \emptyset_{10} = 150 - \frac{1}{2} \cdot 14 - \frac{1}{2} \cdot 10 = 138 \text{ mm}$$

$$\mathbf{s_{sv,min} = 27 \text{ mm} < s_{sv,skut} = 138 \text{ mm}} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

- Omezení výšky tlačené oblasti:

$$\xi = \frac{x}{d_{prům}} = \frac{0,0211}{0,2347} = 0,090$$

$$\xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

$$\xi_{bal} = 0,617 > \xi = 0,090$$

**VYHOVUJE**

### **Ohyb - základní rastr doplněný o 1 prut Ø14 ve směru osy x**

**Ø14/150 mm** – Do každé mezery v základním rastru se vloží 1 prut Ø14.

- Skutečná plocha výztuže:

$$A_s = \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{14}^2}{4} = \frac{1000}{150} \cdot \frac{\pi \cdot 14^2}{4} = 1026 \cdot 10^{-6} m^2$$

Posudek

- Síla ve výztuži:

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 1026 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 446,08 kN$$

- Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{446,08 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0279 m$$

- Moment únosnosti průřezu:

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d_{x,14} - 0,4 \cdot x) = 446,08 \cdot (0,234 - 0,4 \cdot 0,0279) = 99,40 kNm/m$$

$$m_{Rd} = 99,40 kNm/m$$

Konstrukční zásady

- Omezení množství výztuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,275 = 11000 \cdot 10^{-6} m^2$$

$$A_{s,max} = 11000 \cdot 10^{-6} m^2 > A_s = 2052 \cdot 10^{-6} m^2$$

**VYHOVUJE**

- Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_{sv,min} = \max \left\{ \frac{1,2 \cdot \phi_{max}}{d_g + 5 \text{ mm}}, \frac{1,2 \cdot 14}{20} \right\} = \left\{ \frac{22 + 5}{20} \right\} = 27 \text{ mm}$$

$$s_{sv,skut} = s_{os,skut} - \phi_{14} = 150 - 14 = 136 \text{ mm}$$

$$s_{sv,min} = 27 \text{ mm} < s_{sv,skut} = 136 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

- Omezení výšky tlačené oblasti:

$$\xi = \frac{x}{d_{x,14}} = \frac{0,0279}{0,234} = 0,119$$

$$\xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

$$\xi_{bal} = 0,617 > \xi = 0,119$$

**VYHOVUJE**

**Ohyb - základní rastr doplněný o 2 pruty Ø14 ve směru osy x**

**Ø14/100 mm** – Do každé mezery v základním rastru se vloží 2 pruty Ø14.

- Skutečná plocha výztuže:

$$A_s = \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{14}^2}{4} = \frac{1000}{100} \cdot \frac{\pi \cdot 14^2}{4} = 1539 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Posudek

- Síla ve výztuži:

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 1539 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 669,13 \text{ kN}$$

- Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{669,13 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0418 \text{ m}$$

- Moment únosnosti průřezu:

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d_{x,14} - 0,4 \cdot x) = 669,13 \cdot (0,234 - 0,4 \cdot 0,0418) = 145,39 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Rd} = 145,39 \text{ kNm/m}$$

## Konstrukční zásady

- Omezení množství výztuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,275 = 11000 \cdot 10^{-6} m^2$$

$$A_{s,max} = 11000 \cdot 10^{-6} m^2 > A_s = 3078 \cdot 10^{-6} m^2 \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_{sv,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot \phi_{max} \\ d_g + 5 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot 14 \\ 22 + 5 \\ 20 \end{array} \right\} = 27 \text{ mm}$$

$$s_{sv,skut} = s_{os,skut} - \phi_{14} = 100 - 14 = 86 \text{ mm}$$

$$s_{sv,min} = 27 \text{ mm} < s_{sv,skut} = 86 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Omezení výšky tlačené oblasti:

$$\xi = \frac{x}{d_{x,14}} = \frac{0,0418}{0,234} = 0,179$$

$$\xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

$$\xi_{bal} = 0,617 > \xi = 0,179 \quad \text{VYHOVUJE}$$

## Ohyb - základní rastr doplněný o 1 prut Ø6 ve směru osy y

Ø14/300 mm + Ø6/300 mm – Do každé mezery v základním rastru se vloží 1 prut Ø6.

- Plocha výztuže Ø6:

$$A_{s,6} = \frac{1}{s_6} \cdot \frac{\pi \cdot \phi_6^2}{4} = \frac{1000}{300} \cdot \frac{\pi \cdot 6^2}{4} = 94 \cdot 10^{-6} m^2$$

- Plocha výztuže Ø14:

$$A_{s,14} = A_{s,r} = 513 \cdot 10^{-6} m^2$$

- Skutečná celková plocha výztuže:

$$A_s = A_{s,6} + A_{s,14} = 607 \cdot 10^{-6} m^2$$

## Posudek

- Síla ve výztuži:

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 607 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 263,91 \text{ kN}$$

- Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{263,91 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0165 \text{ m}$$

- Účinná výška průřezu ve směru y pro prut Ø6:

$$d_{y,6} = h - c_{nom} - \phi_{14} + \frac{1}{2} \cdot \phi_6 = 275 - 20 - 14 + \frac{1}{2} \cdot 6 = 244 \text{ mm}$$

- Průměrná účinná výška průřezu:

$$\begin{aligned} d_{prům} &= \frac{d_{y,6} \cdot A_{s,6} + d_{y,14} \cdot A_{s,14}}{A_s} = \frac{0,244 \cdot 94 \cdot 10^{-6} + 0,248 \cdot 513 \cdot 10^{-6}}{607 \cdot 10^{-6}} \\ &= 247,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Moment únosnosti průřezu:

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d_{prům} - 0,4 \cdot x) = 263,91 \cdot (0,2474 - 0,4 \cdot 0,0165) = 63,55 \text{ kNm/m}$$

$$\mathbf{m_{Rd} = 63,55 \text{ kNm/m}}$$

## Konstrukční zásady

- Omezení množství výztuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,275 = 11000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\mathbf{A_{s,max} = 11000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_s = 1214 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

- Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_{sv,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot \phi_{max} \\ d_g + 5 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot 14 \\ 22 + 5 \\ 20 \end{array} \right\} = 27 \text{ mm}$$

$$s_{sv,skut} = s_{os,skut} - \frac{1}{2} \cdot \phi_{14} - \frac{1}{2} \cdot \phi_6 = 150 - \frac{1}{2} \cdot 14 - \frac{1}{2} \cdot 6 = 140 \text{ mm}$$

$$\mathbf{s_{sv,min} = 27 \text{ mm} < s_{sv,skut} = 140 \text{ mm}} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

- Omezení výšky tlačené oblasti:

$$\xi = \frac{x}{d_{prům}} = \frac{0,0165}{0,2474} = 0,067$$

$$\xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

$$\xi_{bal} = 0,617 > \xi = 0,067$$

**VYHOVUJE**

### **Ohyb - základní rastr doplněný o 1 prut Ø10 ve směru osy y**

**Ø14/300 mm + Ø10/300 mm** – Do každé mezery v základním rastru se vloží 1 prut Ø10.

- Plocha výztuže Ø10:

$$A_{s,10} = \frac{1}{s_{10}} \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{10}^2}{4} = \frac{1000}{300} \cdot \frac{\pi \cdot 10^2}{4} = 262 \cdot 10^{-6} m^2$$

- Plocha výztuže Ø14:

$$A_{s,14} = A_{s,r} = 513 \cdot 10^{-6} m^2$$

- Skutečná celková plocha výztuže:

$$A_s = A_{s,10} + A_{s,14} = 775 \cdot 10^{-6} m^2$$

### **Posudek**

- Síla ve výztuži:

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 775 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 336,95 kN$$

- Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{336,95 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0211 m$$

- Účinná výška průřezu ve směru y pro prut Ø10:

$$d_{y,10} = h - c_{nom} - \phi_{14} + \frac{1}{2} \cdot \phi_{10} = 275 - 20 - 14 + \frac{1}{2} \cdot 10 = 246 mm$$

- Průměrná účinná výška průřezu:

$$d_{prům} = \frac{d_{y,10} \cdot A_{s,10} + d_{y,14} \cdot A_{s,14}}{A_s} = \frac{0,246 \cdot 262 \cdot 10^{-6} + 0,248 \cdot 513 \cdot 10^{-6}}{775 \cdot 10^{-6}} = 247,3 mm$$



- Moment únosnosti průřezu:

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d_{prům} - 0,4 \cdot x) = 336,95 \cdot (0,2473 - 0,4 \cdot 0,0211) = 80,48 \text{ kNm/m}$$

$$\mathbf{m_{Rd} = 80,48 \text{ kNm/m}}$$

Konstrukční zásady

- Omezení množství výztuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,275 = 11000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\mathbf{A_{s,max} = 11000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_s = 1550 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

- Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_{sv,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot \phi_{max} \\ d_g + 5 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot 14 \\ 22 + 5 \\ 20 \end{array} \right\} = 27 \text{ mm}$$

$$s_{sv,skut} = s_{os,skut} - \frac{1}{2} \cdot \phi_{14} - \frac{1}{2} \cdot \phi_{10} = 150 - \frac{1}{2} \cdot 14 - \frac{1}{2} \cdot 10 = 138 \text{ mm}$$

$$\mathbf{s_{sv,min} = 27 \text{ mm} < s_{sv,skut} = 138 \text{ mm}} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

- Omezení výšky tlačené oblasti:

$$\xi = \frac{x}{d_{prům}} = \frac{0,0211}{0,2473} = 0,085$$

$$\xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

$$\mathbf{\xi_{bal} = 0,617 > \xi = 0,085} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

**Ohyb - základní rastr doplněný o 1 prut Ø14 ve směru osy y**

**Ø14/150 mm** – Do každé mezery v základním rastru se vloží 1 prut Ø14.

- Skutečná plocha výztuže:

$$A_s = \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{14}^2}{4} = \frac{1000}{150} \cdot \frac{\pi \cdot 14^2}{4} = 1026 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

## Posudek

- Síla ve výztuži:

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 1026 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 446,08 \text{ kN}$$

- Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{446,08 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0279 \text{ m}$$

- Moment únosnosti průřezu:

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d_{y,14} - 0,4 \cdot x) = 446,08 \cdot (0,248 - 0,4 \cdot 0,0279) = 105,65 \text{ kNm/m}$$

$$\mathbf{m_{Rd} = 105,65 \text{ kNm/m}}$$

## Konstrukční zásady

- Omezení množství výztuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,275 = 11000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\mathbf{A_{s,max} = 11000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_s = 2052 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2}$$

**VYHOVUJE**

- Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_{sv,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot \phi_{max} \\ d_g + 5 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot 14 \\ 22 + 5 \\ 20 \end{array} \right\} = 27 \text{ mm}$$

$$s_{sv,skut} = s_{os,skut} - \phi_{14} = 150 - 14 = 136 \text{ mm}$$

$$\mathbf{s_{sv,min} = 27 \text{ mm} < s_{sv,skut} = 136 \text{ mm}}$$

**VYHOVUJE**

- Omezení výšky tlačené oblasti:

$$\xi = \frac{x}{d_{y,14}} = \frac{0,0279}{0,248} = 0,113$$

$$\xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

$$\mathbf{\xi_{bal} = 0,617 > \xi = 0,113}$$

**VYHOVUJE**

### Ohyb - základní rastr doplněný o 2 pruty Ø14 ve směru osy y

Ø14/100 mm – Do každé mezery v základním rastru se vloží 2 pruty Ø14

- Skutečná plocha výztuže:

$$A_s = \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{14}^2}{4} = \frac{1000}{100} \cdot \frac{\pi \cdot 14^2}{4} = 1539 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Posudek

- Síla ve výztuži:

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 1539 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 669,13 \text{ kN}$$

- Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{669,13 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0418 \text{ m}$$

- Moment únosnosti průřezu:

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d_{y,14} - 0,4 \cdot x) = 669,13 \cdot (0,248 - 0,4 \cdot 0,0418) = 154,76 \text{ kNm/m}$$

$$\mathbf{m_{Rd} = 154,76 \text{ kNm/m}}$$

Konstrukční zásady

- Omezení množství výztuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,275 = 11000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\mathbf{A_{s,max} = 11000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_s = 3078 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2}$$

**VYHOVUJE**

- Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_{sv,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot \phi_{max} \\ d_g + 5 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot 14 \\ 22 + 5 \\ 20 \end{array} \right\} = 27 \text{ mm}$$

$$s_{sv,skut} = s_{os,skut} - \phi_{14} = 100 - 14 = 86 \text{ mm}$$

$$\mathbf{s_{sv,min} = 27 \text{ mm} < s_{sv,skut} = 86 \text{ mm}}$$

**VYHOVUJE**

- Omezení výšky tlačené oblasti:

$$\xi = \frac{x}{d_{y,14}} = \frac{0,0418}{0,248} = 0,169$$

$$\xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

$$\xi_{bal} = 0,617 > \xi = 0,169$$

**VYHOVUJE**

### Ohyb – shrnutí únosnosti průřezů

	Směr x [kNm/m]	Směr y [kNm/m]
Ø14/300 mm	50,95	54,07
Ø14/300 mm + Ø6/300mm	60,17	63,55
Ø14/300 mm + Ø10/300mm	76,24	80,48
Ø14/150 mm	99,40	105,65
Ø14/100 mm	145,39	154,76

*Tab.13: Shrnutí únosnosti průřezů v ohybu*

### Kotevní délka

Kotevní délka je počítána pro pruty v dobrých podmínkách soudržnosti.

Pro výztuž  $\varnothing = 14 \text{ mm}$

- Návrhová hodnota pevnosti betonu v tahu:

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk;0.05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

- Návrhová hodnota mezního napětí v soudržnosti:

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

- Základní požadovaná kotevní délka:

$$l_{b,rqd} = \frac{\varnothing_{14}}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{14}{4} \cdot \frac{434,78}{3} = 507 \approx 510 \text{ mm}$$

- Návrhová kotevní délka:

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 510 = 510 \text{ mm}$$

- Minimální kotevní délka:

$$l_{b,min} = \max \left\{ \begin{matrix} 0,3 \cdot l_{b,rqd} \\ 10 \cdot \phi_{14} \\ 100 \text{ mm} \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} 0,3 \cdot 510 \\ 10 \cdot 14 \\ 100 \end{matrix} \right\} = 153 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 510 \text{ mm} > l_{b,min} = 153 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

Pro výztuž  $\phi = 10 \text{ mm}$

- Návrhová hodnota pevnosti betonu v tahu:

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk;0.05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

- Návrhová hodnota mezního napětí v soudržnosti:

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

- Základní požadovaná kotevní délka:

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi_{10}}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{10}{4} \cdot \frac{434,78}{3} = 362 \approx 370 \text{ mm}$$

- Návrhová kotevní délka:

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 370 = 370 \text{ mm}$$

- Minimální kotevní délka:

$$l_{b,min} = \max \left\{ \begin{matrix} 0,3 \cdot l_{b,rqd} \\ 10 \cdot \phi_{10} \\ 100 \text{ mm} \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} 0,3 \cdot 370 \\ 10 \cdot 10 \\ 100 \end{matrix} \right\} = 111 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 370 \text{ mm} > l_{b,min} = 111 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

Pro výztuž  $\phi = 6 \text{ mm}$

- Návrhová hodnota pevnosti betonu v tahu:

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk;0.05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

- Návrhová hodnota mezního napětí v soudržnosti:

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

- Základní požadovaná kotevní délka:

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi_6}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{6}{4} \cdot \frac{434,78}{3} = 217 \approx 220 \text{ mm}$$

- Návrhová kotevní délka:

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 220 = 220 \text{ mm}$$

- Minimální kotevní délka:

$$l_{b,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot l_{b,rqd} \\ 10 \cdot \phi_6 \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot 220 \\ 10 \cdot 6 \\ 100 \end{array} \right\} = 100 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 220 \text{ mm} > l_{b,min} = 100 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

### Délka přesahu

Pro výztuž  $\phi = 14 \text{ mm}$

- Součinitel pro případ, kdy je procento prutů stykovaných přesahem v poměru k celkové průřezové ploše výztuže větší než 50%:

$$\alpha_6 = 1,5$$

- Návrhová délka přesahu:

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 507 \approx 770 \text{ mm}$$

- Minimální délka přesahu:

$$l_{0,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \\ 15 \cdot \phi_{14} \\ 200 \text{ mm} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot 1,5 \cdot 510 \\ 15 \cdot 14 \\ 200 \end{array} \right\} = 230 \text{ mm}$$

$$l_0 = 770 \text{ mm} > l_{0,min} = 230 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

Pro výztuž  $\phi = 10 \text{ mm}$

- Součinitel pro případ, kdy je procento prutů stykovaných přesahem v poměru k celkové průřezové ploše výztuže větší než 50%:

$$\alpha_6 = 1,5$$

- Návrhová délka přesahu:

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 362 \approx 550 \text{ mm}$$

- Minimální délka přesahu:

$$l_{0,min} = \max \left\{ \begin{array}{c} 0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \\ 15 \cdot \phi_{10} \\ 200 \text{ mm} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} 0,3 \cdot 1,5 \cdot 370 \\ 15 \cdot 10 \\ 200 \end{array} \right\} = 200 \text{ mm}$$

$$l_0 = 550 \text{ mm} > l_{0,min} = 200 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

Pro výztuž  $\phi = 6 \text{ mm}$

- Součinitel pro případ, kdy je procento prutů stykovaných přesahem v poměru k celkové průřezové ploše výztuže větší než 50%:

$$\alpha_6 = 1,5$$

- Návrhová délka přesahu:

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 217 \approx 330 \text{ mm}$$

- Minimální délka přesahu:

$$l_{0,min} = \max \left\{ \begin{array}{c} 0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \\ 15 \cdot \phi_6 \\ 200 \text{ mm} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} 0,3 \cdot 1,5 \cdot 220 \\ 15 \cdot 6 \\ 200 \end{array} \right\} = 200 \text{ mm}$$

$$l_0 = 330 \text{ mm} > l_{0,min} = 200 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

### Smyková únosnost (protlačení) – Střední sloup

- Celkové rovnoměrné zatížení desky:

$$f_d = g_d + s_{d,1} + w_d^{I+} = 9,76 + 1,55 + 0,66 = 11,97 \text{ kN/m}^2$$

- Svislá reakce v podpoře spočtena ručně:

$$R_{Ed,r} = f_d \cdot L_x \cdot L_y = 11,97 \cdot 6 \cdot 9 = 646,38 \text{ kN}$$

- Svislá reakce v podpoře spočtená v programu Scia Engineer:

$$R_{Ed,s} = 695,07 \text{ kN}$$

Pro další výpočet bude použita hodnota spočtena pomocí programu Scia Engineer.

- Účinná výška desky:

$$d_{eff} = \frac{d_{x,14} + d_{y,14}}{2} = \frac{234 + 248}{2} = 241 \text{ mm}$$

- Délka strany sloupu:

$$c = 0,4 \text{ m}$$

- Nultý kontrolovaný obvod:  $u_0 = 4 \cdot c = 4 \cdot 0,4 = 1,6 \text{ m}$
- Délka základního kontrolovaného obvodu:  

$$u_1 = 4 \cdot c + 2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot d_{eff} = 4 \cdot 0,4 + 2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 0,241 = 4,63 \text{ m}$$

Redukce svislé síly

- Plocha základního kontrolovaného obvodu:  

$$A_1 = c \cdot c + 4 \cdot c \cdot 2 \cdot d_{eff} + \pi \cdot (2 \cdot d_{eff})^2$$

$$= 0,4 \cdot 0,4 + 4 \cdot 0,4 \cdot 2 \cdot 0,241 + \pi \cdot (2 \cdot 0,241)^2 = 1,66 \text{ m}^2$$
- Redukovaná svislá síla:  

$$V_{Ed} = R_{Ed} - A_1 \cdot f_d = 695,07 - 1,66 \cdot 11,97 = 675,2 \text{ kN}$$

Ověření maximální smykové únosnosti na obvodu sloupu

- Redukční součinitel  

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$
- Součinitel pro střední sloup:  

$$\beta = 1,15$$
- Maximální návrhové smykové napětí:  

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{R_{Ed}}{u_0 \cdot d_{eff}} = 1,15 \cdot \frac{695,07 \cdot 10^{-3}}{1,6 \cdot 0,241} = 1,803 \text{ MPa}$$
- Maximální únosnost betonu při protlačení na obvodu sloupu:  

$$v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,528 \cdot 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,max} = 4,224 \text{ MPa} > v_{Ed} = 1,803 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

Smyková únosnost v základním kontrolovaném obvodu bez smykové výztuže

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{eff}}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{241}} = 1,911 < 2,0$$

- Stupeň vyztužení:  

$$\rho_{lx} = \frac{A_{sx}}{(c + 6 \cdot d_{eff}) \cdot d_{x,14}} = \frac{1539 \cdot 1,5 + 607 \cdot (0,4 + 6 \cdot 0,241 - 1,5)}{(400 + 6 \cdot 241) \cdot 234} = 0,00583$$



$$\rho_{ly} = \frac{A_{sy}}{(c + 6 \cdot d_{eff}) \cdot d_{y,14}} = \frac{1539 \cdot 1,5 + 1026 \cdot (0,4 + 6 \cdot 0,241 - 1,5)}{(400 + 6 \cdot 241) \cdot 248} = 0,00582$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} = \sqrt{0,00583 \cdot 0,00582} = 0,00582 < 0,02$$

- Návrhová únosnost ve smyku při protlačení:

$$\begin{aligned} v_{Rd,c} &= C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} = \frac{0,18}{1,5} \cdot 1,911 \cdot (100 \cdot 0,00582 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} \\ &= 0,595 \text{ MPa} > v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,911^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} \\ &= 0,506 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_1 \cdot d_{eff}} = 1,15 \cdot \frac{675,2 \cdot 10^{-3}}{4,63 \cdot 0,241} = 0,696 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,c} = 0,595 \text{ MPa} < v_{Ed} = 0,696 \text{ MPa}$$

**NEVYHOVUJE**

→ Nutno navrhnout smykovou výztuž

Návrh smykové výztuže

- Síla na délku kontrolovaného obvodu včetně vlivu momentu:

$$\bar{V}_{Ed} = \beta \cdot V_{Ed} = 1,15 \cdot 0,6752 = 0,776 \text{ MN}$$

- Délka kontrolovaného obvodu, kde již není nutná smyková výztuž:

$$u_{out} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d_{eff}} = 1,15 \cdot \frac{0,6752}{0,595 \cdot 0,241} = 5,415 \text{ m}$$

- Vzdálenost kontrolovaného obvodu, kde již není nutná smyková výztuž, od líce sloupu:

$$r_{out} = \frac{u_{out} - 4 \cdot c}{2 \cdot \pi} = \frac{5,415 - 4 \cdot 0,4}{2 \cdot \pi} = 0,607 \text{ m}$$

- Návrh třmínkové smykové výztuže v radiálním směru:

$$s_{r,max} = 0,75 \cdot d_{eff} = 0,75 \cdot 241 = 181 \text{ mm}$$

$$s_r = 175 \text{ mm}$$

- Celkový počet prutů na celý 1. kontrolovaný obvod:

$$n_s = 12$$

- Počet započitatelných obvodů smykové výztuže:

$$n_0 = \frac{1,5 \cdot d_{eff}}{s_r} = \frac{1,5 \cdot 0,241}{0,175} = 2,07$$

- Pevnost smykové výztuže:

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 \cdot d_{eff} = 250 + 0,25 \cdot 241 = 310,25 \text{ MPa} < f_{ywd} = \frac{500}{1,15} \\ = 434,78 \text{ MPa}$$

- Síla přenesená betonem na délku kontrolovaného obvodu:

$$V_{Rd,c} = v_{Rd,c} \cdot d_{eff} \cdot u_1 = 0,595 \cdot 0,241 \cdot 4,63 = 0,664 \text{ MN}$$

- Síla, kterou musí přenést smyková výztuž na délku obvodu:

$$V_{Rd,s} = \bar{V}_{Ed} - 0,75 \cdot V_{Rd,c} = 0,776 - 0,75 \cdot 0,664 = 0,278 \text{ MN}$$

- Minimální nutná plocha smykové výztuže prvního kontrolovaného obvodu:

$$A_{sw,k} = \frac{V_{Rd,s}}{\sin \alpha \cdot f_{ywd,ef}} = \frac{0,278}{\sin 90^\circ \cdot 310,25} = 896 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Minimální započitatelná plocha jednoho obvodu výztuže:

$$A_{sw,min} = \frac{A_{sw,k}}{n_0} = \frac{896 \cdot 10^{-6}}{2,07} = 433 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Návrh: 12Ø10

- Započitatelná plocha jednoho obvodu výztuže:

$$A_{sw} = n_s \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{10}^2}{4} = 12 \cdot \frac{\pi \cdot 10^2}{4} = 942 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Návrhová únosnost ve smyku při protlačení se smykovou výztuží:

$$v_{Rd,cs} = 0,75 \cdot v_{Rd,c} + 1,5 \cdot \frac{d_{eff}}{s_r} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \frac{1}{u_1 \cdot d_{eff}} \cdot \sin \alpha \\ = 0,75 \cdot 0,595 + 1,5 \cdot \frac{0,241}{0,175} \cdot 942 \cdot 10^{-6} \cdot 310,25 \cdot \frac{1}{4,63 \cdot 0,241} \\ \cdot \sin 90^\circ = 0,987 \text{ MPa} < k_{max} \cdot v_{Rd,c} = 1,96 \cdot 0,595 = 1,166 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,cs} = 0,987 \text{ MPa} < v_{Ed} = 0,696 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

## Konstrukční zásady

- Maximální vzdálenost jednotlivých řad výztuže:

$$s_{r,max} = 0,75 \cdot d_{eff} = 0,75 \cdot 241 = 181 \text{ mm}$$

- Maximální vzdálenost poslední řady výztuže od obvodu nevyžadujícím smykovou výztuž:

$$1,5 \cdot d_{eff} = 1,5 \cdot 241 = 362 \text{ mm}$$

- Maximální vzdálenost první řady výztuže od sloupu:

$$0,5 \cdot d_{eff} = 0,5 \cdot 241 = 120 \text{ mm}$$

- Minimální vzdálenost první řady výztuže od sloupu:

$$0,3 \cdot d_{eff} = 0,3 \cdot 241 = 72 \text{ mm}$$

- Maximální tangenciální vzdálenost trnů v řadě v prvním kontrolním obvodu:

$$s_{t,max} = 1,5 \cdot d_{eff} = 1,5 \cdot 241 = 362 \text{ mm}$$

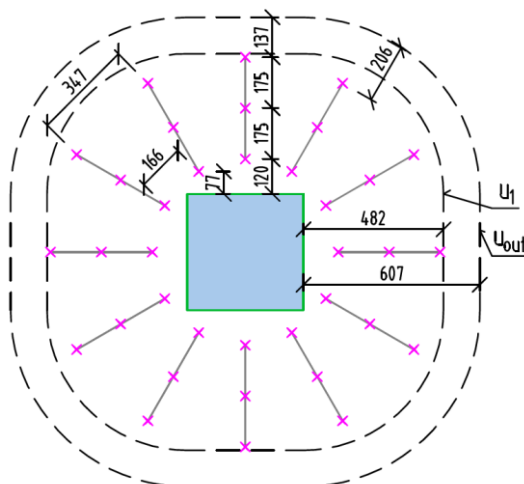
- Minimální stupeň vyztužení:

$$\rho_{sw,3} = 1,5 \cdot \frac{A_{sw}}{s_r \cdot s_{t,3}} = 1,5 \cdot \frac{942 \cdot 10^{-6}}{0,175 \cdot 0,347} = 0,0232$$

$$\rho_{sw,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$\rho_{sw,min} = 0,00088 < \rho_{sw,3} = 0,0232$$

**VYHOVUJE**



Obr. 84: Výztuž na protlačení středního sloupu

Výztuže proti protlačení je navržena od firmy PEIKKO 12xPSB – 10/235-3/550 (100/2\*175/100). Součinitel  $k_{max} = 1,96$  použitý ve výpočtu, který omezuje maximální únosnost desky na protlačení s výztuží je uveden výrobcem v technickém manuálu [12].

### Smyková únosnost (protlačení) – Krajní sloup

- Celkové rovnoměrné zatížení desky:

$$f_d = g_d + s_{d,1} + w_d^{I+} = 9,76 + 1,55 + 0,66 = 11,97 \text{ kN/m}^2$$

- Svislá reakce v podpoře spočtena ručně:

$$R_{Ed,r} = f_d \cdot 0,5 \cdot L_x \cdot L_y = 11,97 \cdot 0,5 \cdot 6 \cdot 9 = 323,19 \text{ kN}$$

- Svislá reakce v podpoře spočtená v programu Scia Engineer:

$$R_{Ed,s} = 314,07 \text{ kN}$$

Pro další výpočet bude použita hodnota spočtena pomocí programu Scia Engineer.

- Účinná výška desky:

$$d_{eff} = \frac{d_{x,14} + d_{y,14}}{2} = \frac{234 + 248}{2} = 241 \text{ mm}$$

- Délka strany sloupu:

$$c = 0,4 \text{ m}$$

- Nultý kontrolovaný obvod:

$$u_0 = 3 \cdot c = 3 \cdot 0,4 = 1,2 \text{ m}$$

- Délka základního kontrolovaného obvodu:

$$u_1 = 3 \cdot c + \pi \cdot 2 \cdot d_{eff} = 3 \cdot 0,4 + \pi \cdot 2 \cdot 0,241 = 2,714 \text{ m}$$

Redukce svislé síly

- Plocha základního kontrolovaného obvodu:

$$\begin{aligned} A_1 &= c \cdot c + 3 \cdot c \cdot 2 \cdot d_{eff} + \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot (2 \cdot d_{eff})^2 \\ &= 0,4 \cdot 0,4 + 3 \cdot 0,4 \cdot 2 \cdot 0,241 + \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot (2 \cdot 0,241)^2 = 1,10 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Redukovaná svislá síla:

$$V_{Ed} = R_{Ed} - A_1 \cdot f_d = 314,07 - 1,10 \cdot 11,97 = 300,90 \text{ kN}$$

Ověření maximální smykové únosnosti na obvodu sloupu

- Redukční součinitel

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

- Součinitel pro krajní sloup:

$$\beta = 1,40$$

- Maximální návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{R_{Ed}}{u_0 \cdot d_{eff}} = 1,40 \cdot \frac{314,07 \cdot 10^{-3}}{1,2 \cdot 0,241} = 1,520 \text{ MPa}$$

- Maximální únosnost betonu při protlačení na obvodu sloupu:

$$v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,528 \cdot 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,max} = 4,224 \text{ MPa} > v_{Ed} = 1,520 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

Smyková únosnost v základním kontrolovaném obvodě bez smykové výztuže

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{eff}}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{241}} = 1,911 < 2,0$$

- Stupeň vyztužení:

$$\rho_{lx} = \frac{A_{sx}}{(c + 6 \cdot d_{eff}) \cdot d_{x,14}} = \frac{1539 \cdot 1,5 + 607 \cdot (0,4 + 6 \cdot 0,241 - 1,5)}{(400 + 6 \cdot 241) \cdot 234} = 0,00583$$

$$\begin{aligned} \rho_{ly} &= \frac{A_{sy}}{(c + 6 \cdot d_{eff}) \cdot d_{y,14}} = \frac{1539 \cdot 0,95 + 1026 \cdot (0,4 + 3 \cdot 0,241 - 0,95)}{(400 + 3 \cdot 241) \cdot 248} \\ &= 0,00589 \end{aligned}$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} = \sqrt{0,00583 \cdot 0,00589} = 0,00586 < 0,02$$

- Návrhová únosnost ve smyku při protlačení:

$$\begin{aligned} v_{Rd,c} &= C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} = \frac{0,18}{1,5} \cdot 1,911 \cdot (100 \cdot 0,00586 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} \\ &= 0,596 \text{ MPa} > v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,911^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} \\ &= 0,506 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_1 \cdot d_{eff}} = 1,40 \cdot \frac{300,90 \cdot 10^{-3}}{2,714 \cdot 0,241} = 0,644 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,c} = 0,596 \text{ MPa} < v_{Ed} = 0,644 \text{ MPa}$$

NEVYHOVUJE

→ Nutno navrhnout smykovou výztuž

Návrh smykové výztuže

- Síla na délku kontrolovaného obvodu včetně vlivu momentu:

$$\bar{V}_{Ed} = \beta \cdot V_{Ed} = 1,40 \cdot 0,3009 = 0,421 \text{ MN}$$

- Délka kontrolovaného obvodu, kde již není nutná smyková výztuž:

$$u_{out} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d_{eff}} = 1,40 \cdot \frac{0,3009}{0,596 \cdot 0,241} = 2,933 \text{ m}$$

- Vzdálenost kontrolovaného obvodu, kde již není nutná smyková výztuž, od líce sloupu:

$$r_{out} = \frac{u_{out} - 3 \cdot c}{\pi} = \frac{2,933 - 3 \cdot 0,4}{\pi} = 0,552 \text{ m}$$

- Návrh třmínkové smykové výztuže v radiálním směru:

$$s_{r,max} = 0,75 \cdot d_{eff} = 0,75 \cdot 241 = 181 \text{ mm}$$

$$s_r = 175 \text{ mm}$$

- Celkový počet prutů na celý 1. kontrolovaný obvod:

$$n_s = 7$$

- Počet započitatelných obvodů smykové výztuže:

$$n_0 = \frac{1,5 \cdot d_{eff}}{s_r} = \frac{1,5 \cdot 0,241}{0,175} = 2,07$$

- Pevnost smykové výztuže:

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 \cdot d_{eff} = 250 + 0,25 \cdot 241 = 310,25 \text{ MPa} < f_{ywd} = \frac{500}{1,15} \\ = 434,78 \text{ MPa}$$

- Síla přenesená betonem na délku kontrolovaného obvodu:

$$V_{Rd,c} = v_{Rd,c} \cdot d_{eff} \cdot u_1 = 0,596 \cdot 0,241 \cdot 2,714 = 0,390 \text{ MN}$$

- Síla, kterou musí přenést smyková výztuž na délku obvodu:

$$V_{Rd,s} = \bar{V}_{Ed} - 0,75 \cdot V_{Rd,c} = 0,421 - 0,75 \cdot 0,390 = 0,129 \text{ MN}$$

- Minimální nutná plocha smykové výztuže prvního kontrolovaného obvodu:

$$A_{sw,k} = \frac{V_{Rd,s}}{\sin \alpha \cdot f_{ywd,ef}} = \frac{0,129}{\sin 90^\circ \cdot 310,25} = 414 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Minimální započitatelná plocha jednoho obvodu výztuže:

$$A_{sw,min} = \frac{A_{sw,k}}{n_0} = \frac{414 \cdot 10^{-6}}{2,07} = 200 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Návrh: 7Ø10

- Započitatelná plocha jednoho obvodu výztuže:

$$A_{sw} = n_s \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{10}^2}{4} = 7 \cdot \frac{\pi \cdot 10^2}{4} = 550 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Návrhová únosnost ve smyku při protlačení se smykovou výztuží:

$$\begin{aligned} v_{Rd,cs} &= 0,75 \cdot v_{Rd,c} + 1,5 \cdot \frac{d_{eff}}{s_r} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \frac{1}{u_1 \cdot d_{eff}} \cdot \sin \alpha \\ &= 0,75 \cdot 0,596 + 1,5 \cdot \frac{0,241}{0,175} \cdot 550 \cdot 10^{-6} \cdot 310,25 \cdot \frac{1}{2,714 \cdot 0,241} \\ &\quad \cdot \sin 90^\circ = 0,986 \text{ MPa} < k_{max} \cdot v_{Rd,c} = 1,96 \cdot 0,596 = 1,168 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$v_{Rd,cs} = 0,986 \text{ MPa} < v_{Ed} = 0,644 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

Konstrukční zásady

- Maximální vzdálenost jednotlivých řad výztuže:

$$s_{r,max} = 0,75 \cdot d_{eff} = 0,75 \cdot 241 = 181 \text{ mm}$$

- Maximální vzdálenost poslední řady výztuže od obvodu nevyžadujícím smykovou výztuž:

$$1,5 \cdot d_{eff} = 1,5 \cdot 241 = 362 \text{ mm}$$

- Maximální vzdálenost první řady výztuže od sloupu:

$$0,5 \cdot d_{eff} = 0,5 \cdot 241 = 120 \text{ mm}$$

- Minimální vzdálenost první řady výztuže od sloupu:

$$0,3 \cdot d_{eff} = 0,3 \cdot 241 = 72 \text{ mm}$$

- Maximální tangenciální vzdálenost trnů v řadě v prvním kontrolním obvodu:

$$s_{t,max} = 1,5 \cdot d_{eff} = 1,5 \cdot 241 = 362 \text{ mm}$$

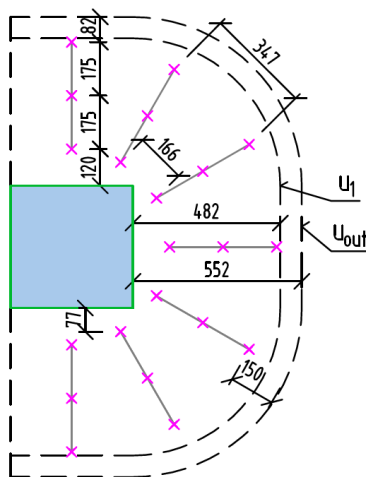
- Minimální stupeň vyztužení:

$$\rho_{sw,3} = 1,5 \cdot \frac{A_{sw}}{s_r \cdot s_{t,3}} = 1,5 \cdot \frac{550 \cdot 10^{-6}}{0,175 \cdot 0,347} = 0,0136$$

$$\rho_{sw,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$\rho_{sw,min} = 0,00088 < \rho_{sw,3} = 0,0136$$

**VYHOVUJE**



Obr. 85: Výztuž na protlačení krajního sloupu

Výztuže proti protlačení je navržena od firmy PEIKKO 7xPSB – 10/235-3/550 (100/2\*175/100).

### Smyková únosnost (protlačení) – Rohový sloup

- Celkové rovnoměrné zatížení desky:

$$f_d = g_d + s_{d,1} + w_d^{l+} = 9,76 + 1,55 + 0,66 = 11,97 \text{ kN/m}^2$$

- Svislá reakce v podpoře spočtena ručně:

$$R_{Ed,r} = f_d \cdot 0,5 \cdot L_x \cdot 0,5 \cdot L_y = 11,97 \cdot 0,5 \cdot 6 \cdot 0,5 \cdot 9 = 161,60 \text{ kN}$$

- Svislá reakce v podpoře spočtená v programu Scia Engineer:

$$R_{Ed,s} = 134,34 \text{ kN}$$



Pro další výpočet bude použita hodnota spočtena pomocí programu Scia Engineer.

- Účinná výška desky:

$$d_{eff} = \frac{d_{x,14} + d_{y,14}}{2} = \frac{234 + 248}{2} = 241 \text{ mm}$$

- Délka strany sloupu:  $c = 0,4 \text{ m}$
- Nultý kontrolovaný obvod:  $u_0 = 2 \cdot c = 2 \cdot 0,4 = 0,8 \text{ m}$
- Délka základního kontrolovaného obvodu:

$$u_1 = 2 \cdot c + 0,5 \cdot \pi \cdot 2 \cdot d_{eff} = 2 \cdot 0,4 + 0,5 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 0,241 = 1,557 \text{ m}$$

Redukce svislé síly

- Plocha základního kontrolovaného obvodu:

$$\begin{aligned} A_1 &= c \cdot c + 2 \cdot c \cdot 2 \cdot d_{eff} + 0,25 \cdot \pi \cdot (2 \cdot d_{eff})^2 \\ &= 0,4 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,4 \cdot 2 \cdot 0,241 + 0,25 \cdot \pi \cdot (2 \cdot 0,241)^2 = 0,73 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Redukovaná svislá síla:

$$V_{Ed} = R_{Ed} - A_1 \cdot f_d = 134,34 - 0,73 \cdot 11,97 = 125,60 \text{ kN}$$

Ověření maximální smykové únosnosti na obvodu sloupu

- Redukční součinitel

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

- Součinitel pro rohový sloup:

$$\beta = 1,50$$

- Maximální návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{R_{Ed}}{u_0 \cdot d_{eff}} = 1,50 \cdot \frac{134,34 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 0,241} = 1,045 \text{ MPa}$$

- Maximální únosnost betonu při protlačení na obvodu sloupu:

$$v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,528 \cdot 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,max} = 4,224 \text{ MPa} > v_{Ed} = 1,045 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

Smyková únosnost v základním kontrolovaném obvodu bez smykové výztuže

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{eff}}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{241}} = 1,911 < 2,0$$

- Stupeň vyztužení:

$$\rho_{lx} = \frac{A_{sx}}{(c + 6 \cdot d_{eff}) \cdot d_{x,14}} = \frac{1539 \cdot 0,95 + 607 \cdot (0,4 + 3 \cdot 0,241 - 0,95)}{(400 + 3 \cdot 241) \cdot 234} = 0,00596$$

$$\rho_{ly} = \frac{A_{sy}}{(c + 6 \cdot d_{eff}) \cdot d_{y,14}} = \frac{1539 \cdot 0,95 + 1026 \cdot (0,4 + 3 \cdot 0,241 - 0,95)}{(400 + 3 \cdot 241) \cdot 248} = 0,00589$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} = \sqrt{0,00596 \cdot 0,00589} = 0,00592 < 0,02$$

- Návrhová únosnost ve smyku při protlačení:

$$\begin{aligned} v_{Rd,c} &= C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} = \frac{0,18}{1,5} \cdot 1,911 \cdot (100 \cdot 0,00592 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} \\ &= 0,598 \text{ MPa} > v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,911^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} \\ &= 0,506 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_1 \cdot d_{eff}} = 1,50 \cdot \frac{125,60 \cdot 10^{-3}}{1,557 \cdot 0,241} = 0,502 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,c} = 0,598 \text{ MPa} > v_{Ed} = 0,502 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

→ Není potřeba navrhnout smykovou výztuž

### Smyková únosnost (protlačení) – Konec ztužující stěny

- Návrhová smyková síla spočtená v programu Scia Engineer:

$$V_{Ed} = 213,44 \text{ kN}$$

- Účinná výška desky:

$$d_{eff} = \frac{d_{x,14} + d_{y,14}}{2} = \frac{234 + 248}{2} = 241 \text{ mm}$$

- Tloušťka stěny:  $b = 0,25 \text{ m}$
- Nultý kontrolovaný obvod:  $u_0 = 3 \cdot b = 3 \cdot 0,25 = 0,75 \text{ m}$
- Délka základního kontrolovaného obvodu:  

$$u_1 = 3 \cdot b + \pi \cdot 2 \cdot d_{eff} = 3 \cdot 0,25 + \pi \cdot 2 \cdot 0,241 = 2,264 \text{ m}$$

Ověření maximální smykové únosnosti na obvodu sloupu

- Redukční součinitel

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

- Součinitel pro konec stěny:

$$\beta = 1,35$$

- Maximální návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_0 \cdot d_{eff}} = 1,35 \cdot \frac{213,44 \cdot 10^{-3}}{0,75 \cdot 0,241} = 1,594 \text{ MPa}$$

- Maximální únosnost betonu při protlačení na obvodu sloupu:

$$v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,528 \cdot 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,max} = 4,224 \text{ MPa} > v_{Ed} = 1,594 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

Smyková únosnost v základním kontrolovaném obvodu bez smykové výztuže

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{eff}}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{241}} = 1,911 < 2,0$$

- Stupeň vyztužení:

$$\rho_{lx} = \frac{A_{sx}}{b \cdot d_{x,14}} = \frac{607}{1000 \cdot 234} = 0,00259$$

$$\rho_{ly} = \frac{A_{sy}}{b \cdot d_{y,14}} = \frac{1026}{1000 \cdot 248} = 0,00414$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} = \sqrt{0,00259 \cdot 0,00414} = 0,00327 < 0,02$$

- Návrhová únosnost ve smyku při protlačení:

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} = \frac{0,18}{1,5} \cdot 1,911 \cdot (100 \cdot 0,00327 \cdot 30)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 0,491 \text{ MPa} > v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,911^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}}$$

$$= 0,506 \text{ MPa}$$

- Návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_1 \cdot d_{eff}} = 1,35 \cdot \frac{213,44 \cdot 10^{-3}}{2,264 \cdot 0,241} = 0,528 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,c} = 0,506 \text{ MPa} < v_{Ed} = 0,528 \text{ MPa}$$

**NEVYHOVUJE**

→ Nutno navrhnout smykovou výztuž

Návrh smykové výztuže

- Síla na délku kontrolovaného obvodu včetně vlivu momentu:

$$\bar{V}_{Ed} = \beta \cdot V_{Ed} = 1,35 \cdot 0,21344 = 0,288 \text{ MN}$$

- Délka kontrolovaného obvodu, kde již není nutná smyková výztuž:

$$u_{out} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d_{eff}} = 1,35 \cdot \frac{0,21344}{0,506 \cdot 0,241} = 2,363 \text{ m}$$

- Vzdálenost kontrolovaného obvodu, kde již není nutná smyková výztuž, od líce sloupu:

$$r_{out} = \frac{u_{out} - 3 \cdot b}{\pi} = \frac{2,363 - 3 \cdot 0,25}{\pi} = 0,513 \text{ m}$$

- Návrh třmínkové smykové výztuže v radiálním směru:

$$s_{r,max} = 0,75 \cdot d_{eff} = 0,75 \cdot 241 = 181 \text{ mm}$$

$$s_r = 175 \text{ mm}$$

- Celkový počet prutů na celý 1. kontrolovaný obvod:

$$n_s = 7$$

- Počet započitatelných obvodů smykové výztuže:

$$n_0 = \frac{1,5 \cdot d_{eff}}{s_r} = \frac{1,5 \cdot 0,241}{0,175} = 2,07$$

- Pevnost smykové výztuže:

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 \cdot d_{eff} = 250 + 0,25 \cdot 241 = 310,25 \text{ MPa} < f_{ywd} = \frac{500}{1,15} \\ = 434,78 \text{ MPa}$$

- Síla přenesená betonem na délku kontrolovaného obvodu:

$$V_{Rd,c} = v_{Rd,c} \cdot d_{eff} \cdot u_1 = 0,506 \cdot 0,241 \cdot 2,264 = 0,276 \text{ MN}$$

- Síla, kterou musí přenést smyková výztuž na délku obvodu:

$$V_{Rd,s} = \bar{V}_{Ed} - 0,75 \cdot V_{Rd,c} = 0,288 - 0,75 \cdot 0,276 = 0,081 \text{ MN}$$

- Minimální nutná plocha smykové výztuže prvního kontrolovaného obvodu:

$$A_{sw,k} = \frac{V_{Rd,s}}{\sin \alpha \cdot f_{ywd,ef}} = \frac{0,081}{\sin 90^\circ \cdot 310,25} = 261 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Minimální započitatelná plocha jednoho obvodu výztuže:

$$A_{sw,min} = \frac{A_{sw,k}}{n_0} = \frac{261 \cdot 10^{-6}}{2,07} = 126 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Návrh: 7Ø10

- Započitatelná plocha jednoho obvodu výztuže:

$$A_{sw} = n_s \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{10}^2}{4} = 7 \cdot \frac{\pi \cdot 10^2}{4} = 550 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Návrhová únosnost ve smyku při protlačení se smykovou výztuží:

$$v_{Rd,cs} = 0,75 \cdot v_{Rd,c} + 1,5 \cdot \frac{d_{eff}}{s_r} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \frac{1}{u_1 \cdot d_{eff}} \cdot \sin \alpha \\ = 0,75 \cdot 0,506 + 1,5 \cdot \frac{0,241}{0,175} \cdot 550 \cdot 10^{-6} \cdot 310,25 \cdot \frac{1}{2,264 \cdot 0,241} \\ \cdot \sin 90^\circ = 1,026 \text{ MPa} < k_{max} \cdot v_{Rd,c} = 1,96 \cdot 0,506 = 0,992 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,cs} = 0,992 \text{ MPa} < v_{Ed} = 0,528 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

Konstrukční zásady

- Maximální vzdálenost jednotlivých řad výztuže:

$$s_{r,max} = 0,75 \cdot d_{eff} = 0,75 \cdot 241 = 181 \text{ mm}$$

- Maximální vzdálenost poslední řady výztuže od obvodu nevyžadujícím smykovou výztuž:

$$1,5 \cdot d_{eff} = 1,5 \cdot 241 = 362 \text{ mm}$$

- Maximální vzdálenost první řady výztuže od sloupu:

$$0,5 \cdot d_{eff} = 0,5 \cdot 241 = 120 \text{ mm}$$

- Minimální vzdálenost první řady výztuže od sloupu:

$$0,3 \cdot d_{eff} = 0,3 \cdot 241 = 72 \text{ mm}$$

- Maximální tangenciální vzdálenost trnů v řadě v prvním kontrolním obvodu:

$$s_{t,max} = 1,5 \cdot d_{eff} = 1,5 \cdot 241 = 362 \text{ mm}$$

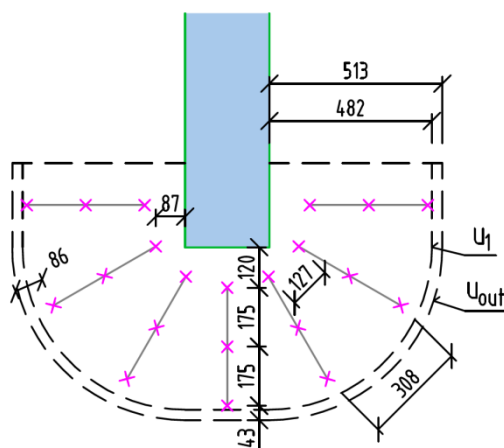
- Minimální stupeň vyztužení:

$$\rho_{sw,3} = 1,5 \cdot \frac{A_{sw}}{s_r \cdot s_{t,3}} = 1,5 \cdot \frac{550 \cdot 10^{-6}}{0,175 \cdot 0,308} = 0,0153$$

$$\rho_{sw,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$\rho_{sw,min} = 0,00088 < \rho_{sw,3} = 0,0153$$

**VYHOVUJE**



Obr. 86: Výztuž na protlačení na konci stěny

Výztuže proti protlačení je navržena od firmy PEIKKO 7xPSB – 10/235-3/550 (100/2\*175/100).

### Smyková únosnost (protlačení) – Roh ztužující stěny 1

- Návrhová smyková síla spočtená v programu Scia Engineer:

$$V_{Ed} = 195,86 \text{ kN}$$

- Účinná výška desky:

$$d_{eff} = \frac{d_{x,14} + d_{y,14}}{2} = \frac{234 + 248}{2} = 241 \text{ mm}$$

- Tloušťka stěny:

$$b = 0,25 \text{ m}$$

- Nultý kontrolovaný obvod:

$$u_0 = 2 \cdot b = 2 \cdot 0,25 = 0,5 \text{ m}$$

- Délka základního kontrolovaného obvodu:

$$u_1 = 2 \cdot b + \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 2 \cdot d_{eff} = 2 \cdot 0,25 + \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 2 \cdot 0,241 = 1,257 \text{ m}$$

Ověření maximální smykové únosnosti na obvodu sloupu

- Redukční součinitel

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

- Součinitel pro roh stěny:

$$\beta = 1,2$$

- Maximální návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_0 \cdot d_{eff}} = 1,2 \cdot \frac{195,86 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 0,241} = 1,95 \text{ MPa}$$

- Maximální únosnost betonu při protlačení na obvodu sloupu:

$$v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,528 \cdot 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,max} = 4,224 \text{ MPa} > v_{Ed} = 1,95 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

Smyková únosnost v základním kontrolovaném obvodu bez smykové výztuže

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{eff}}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{241}} = 1,911 < 2,0$$

- Stupeň vyztužení:

$$\rho_{lx} = \frac{A_{sx}}{b \cdot d_{x,14}} = \frac{513}{1000 \cdot 234} = 0,00219$$

$$\rho_{ly} = \frac{A_{sy}}{b \cdot d_{y,14}} = \frac{1539}{1000 \cdot 248} = 0,00621$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} = \sqrt{0,00219 \cdot 0,00621} = 0,00369 < 0,02$$

- Návrhová únosnost ve smyku při protlačení:

$$\begin{aligned} v_{Rd,c} &= C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} = \frac{0,18}{1,5} \cdot 1,911 \cdot (100 \cdot 0,00369 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} \\ &= 0,511 \text{ MPa} > v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,911^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} \\ &= 0,506 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_1 \cdot d_{eff}} = 1,2 \cdot \frac{195,86 \cdot 10^{-3}}{1,257 \cdot 0,241} = 0,776 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,c} = 0,511 \text{ MPa} < v_{Ed} = 0,776 \text{ MPa}$$

**NEVYHOVUJE**

→ Nutno navrhnout smykovou výztuž

Návrh smykové výztuže

- Síla na délku kontrolovaného obvodu včetně vlivu momentu:

$$\bar{V}_{Ed} = \beta \cdot V_{Ed} = 1,2 \cdot 0,19586 = 0,235 \text{ MN}$$

- Délka kontrolovaného obvodu, kde již není nutná smyková výztuž:

$$u_{out} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d_{eff}} = 1,2 \cdot \frac{0,19586}{0,511 \cdot 0,241} = 1,908 \text{ m}$$

- Vzdálenost kontrolovaného obvodu, kde již není nutná smyková výztuž, od líce sloupu:

$$r_{out} = \frac{u_{out} - 2 \cdot b}{0,5 \cdot \pi} = \frac{1,908 - 2 \cdot 0,25}{0,5 \cdot \pi} = 0,896 \text{ m}$$

- Návrh třmínkové smykové výztuže v radiálním směru:

$$s_{r,max} = 0,75 \cdot d_{eff} = 0,75 \cdot 241 = 181 \text{ mm}$$

$$s_r = 175 \text{ mm}$$



- Celkový počet prutů na celý 1. kontrolovaný obvod:

$$n_s = 6$$

- Počet započitatelných obvodů smykové výztuže:

$$n_0 = \frac{1,5 \cdot d_{eff}}{s_r} = \frac{1,5 \cdot 0,241}{0,175} = 2,07$$

- Pevnost smykové výztuže:

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 \cdot d_{eff} = 250 + 0,25 \cdot 241 = 310,25 \text{ MPa} < f_{ywd} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$$

- Síla přenesená betonem na délku kontrolovaného obvodu:

$$V_{Rd,c} = v_{Rd,c} \cdot d_{eff} \cdot u_1 = 0,511 \cdot 0,241 \cdot 1,257 = 0,155 \text{ MN}$$

- Síla, kterou musí přenést smyková výztuž na délku obvodu:

$$V_{Rd,s} = \bar{V}_{Ed} - 0,75 \cdot V_{Rd,c} = 0,235 - 0,75 \cdot 0,155 = 0,119 \text{ MN}$$

- Minimální nutná plocha smykové výztuže prvního kontrolovaného obvodu:

$$A_{sw,k} = \frac{V_{Rd,s}}{\sin \alpha \cdot f_{ywd,ef}} = \frac{0,119}{\sin 90^\circ \cdot 310,25} = 384 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Minimální započitatelná plocha jednoho obvodu výztuže:

$$A_{sw,min} = \frac{A_{sw,k}}{n_0} = \frac{384 \cdot 10^{-6}}{2,07} = 185 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Návrh: 6Ø10

- Započitatelná plocha jednoho obvodu výztuže:

$$A_{sw} = n_s \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{10}^2}{4} = 6 \cdot \frac{\pi \cdot 10^2}{4} = 471 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Návrhová únosnost ve smyku při protlačení se smykovou výztuží:

$$\begin{aligned} v_{Rd,cs} &= 0,75 \cdot v_{Rd,c} + 1,5 \cdot \frac{d_{eff}}{s_r} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \frac{1}{u_1 \cdot d_{eff}} \cdot \sin \alpha \\ &= 0,75 \cdot 0,511 + 1,5 \cdot \frac{0,241}{0,175} \cdot 471 \cdot 10^{-6} \cdot 310,25 \cdot \frac{1}{1,257 \cdot 0,241} \\ &\quad \cdot \sin 90^\circ = 1,380 \text{ MPa} < k_{max} \cdot v_{Rd,c} = 1,96 \cdot 0,511 = 1,002 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$v_{Rd,cs} = 1,002 \text{ MPa} < v_{Ed} = 0,776 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

## Konstrukční zásady

- Maximální vzdálenost jednotlivých řad výztuže:

$$s_{r,max} = 0,75 \cdot d_{eff} = 0,75 \cdot 241 = 181 \text{ mm}$$

- Maximální vzdálenost poslední řady výztuže od obvodu nevyžadujícím smykovou výztuž:

$$1,5 \cdot d_{eff} = 1,5 \cdot 241 = 362 \text{ mm}$$

- Maximální vzdálenost první řady výztuže od sloupu:

$$0,5 \cdot d_{eff} = 0,5 \cdot 241 = 120 \text{ mm}$$

- Minimální vzdálenost první řady výztuže od sloupu:

$$0,3 \cdot d_{eff} = 0,3 \cdot 241 = 72 \text{ mm}$$

- Maximální tangenciální vzdálenost trnů v řadě v prvním kontrolním obvodu:

$$s_{t,max} = 1,5 \cdot d_{eff} = 1,5 \cdot 241 = 362 \text{ mm}$$

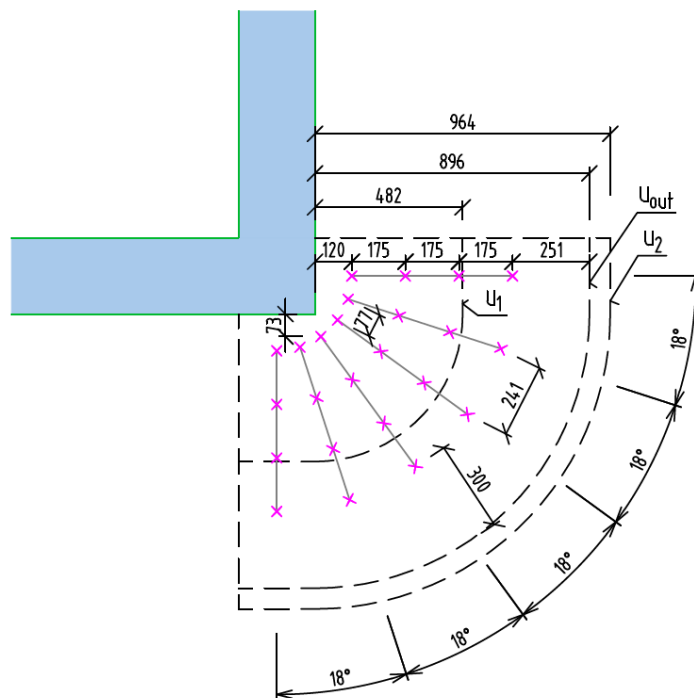
- Minimální stupeň vyztužení:

$$\rho_{sw,4} = 1,5 \cdot \frac{A_{sw}}{s_r \cdot s_{t,4}} = 1,5 \cdot \frac{471 \cdot 10^{-6}}{0,175 \cdot 0,241} = 0,0168$$

$$\rho_{sw,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$\rho_{sw,min} = 0,00088 < \rho_{sw,4} = 0,0168$$

**VYHOVUJE**



Obr. 87: Výztuž na protlačení na rohu stěny

Výztuže proti protlačení je navržena od firmy PEIKKO 6xPSB – 10/235-4/725 (100/3\*175/100).

### Smyková únosnost (protlačení) – Roh ztužující stěny 2

- Návrhová smyková síla spočtená v programu Scia Engineer:

$$V_{Ed} = 108,43 \text{ kN}$$

- Účinná výška desky:

$$d_{eff} = \frac{d_{x,14} + d_{y,14}}{2} = \frac{234 + 248}{2} = 241 \text{ mm}$$

- Tloušťka stěny:

$$b = 0,25 \text{ m}$$

- Nultý kontrolovaný obvod:

$$u_0 = 2 \cdot b = 2 \cdot 0,25 = 0,5 \text{ m}$$

- Délka základního kontrolovaného obvodu:

$$u_1 = 2 \cdot b + \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 2 \cdot d_{eff} = 2 \cdot 0,25 + \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 2 \cdot 0,241 = 1,257 \text{ m}$$

Ověření maximální smykové únosnosti na obvodu sloupu

- Redukční součinitel

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

- Součinitel pro roh stěny:

$$\beta = 1,2$$

- Maximální návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_0 \cdot d_{eff}} = 1,2 \cdot \frac{108,43 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 0,241} = 1,08 \text{ MPa}$$

- Maximální únosnost betonu při protlačení na obvodu sloupu:

$$v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,528 \cdot 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,max} = 4,224 \text{ MPa} > v_{Ed} = 1,08 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

Smyková únosnost v základním kontrolovaném obvodu bez smykové výztuže

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{eff}}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{241}} = 1,911 < 2,0$$

- Stupeň vyztužení:

$$\rho_{lx} = \frac{A_{sx}}{b \cdot d_{x,14}} = \frac{513}{1000 \cdot 234} = 0,00219$$

$$\rho_{ly} = \frac{A_{sy}}{b \cdot d_{y,14}} = \frac{513}{1000 \cdot 248} = 0,00207$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} = \sqrt{0,00219 \cdot 0,00207} = 0,00213 < 0,02$$

- Návrhová únosnost ve smyku při protlačení:

$$\begin{aligned} v_{Rd,c} &= C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} = \frac{0,18}{1,5} \cdot 1,911 \cdot (100 \cdot 0,00213 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} \\ &= 0,426 \text{ MPa} > v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,911^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} \\ &= 0,506 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_1 \cdot d_{eff}} = 1,2 \cdot \frac{108,43 \cdot 10^{-3}}{1,257 \cdot 0,241} = 0,430 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,c} = 0,506 \text{ MPa} < v_{Ed} = 0,430 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

→ Není nutno navrhnout smykovou výztuž

### 5.1.2 Mezní stav použitelnosti

Mezní stav omezení napětí není potřeba vzhledem ke stupni vlivu prostředí XC posuzovat. Šířku trhlin není potřeba posuzovat vzhledem ke stupni vlivu prostředí XC1 a vzhledem k tomu, že stropní konstrukce je zakrytá podhledem, tudíž nám vznikající trhliny nebudou kazit estetický dojem.

### Omezení průhybu

Průhyb není třeba podrobně počítat, pokud vyhoví následující posudek.

### Směr $x$

- Součinitel zohledňující nosný systém:  $K = 1,2$
- Požadovaný stupeň vyztužení tahovou výztuží ve středu rozpětí:

$$\rho_x = \frac{a_{s,x}}{b \cdot d_{x,14}} = \frac{513 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 0,234} = 2,197 \cdot 10^{-3}$$

- Referenční stupeň vyztužení:

$$\rho_0 = 10^{-3} \sqrt{f_{ck}} = 10^{-3} \sqrt{30} = 5,48 \cdot 10^{-3}$$

$\rho_x < \rho_0 \rightarrow$  Použijí podmínku:

$$\frac{l_x}{d_x} = K \cdot \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_x} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \left( \frac{\rho_0}{\rho_x} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

$$\frac{6}{0,234} = 1,2 \cdot \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{30} \cdot \frac{5,48 \cdot 10^{-3}}{2,197 \cdot 10^{-3}} + 3,2 \cdot \sqrt{30} \left( \frac{5,48 \cdot 10^{-3}}{2,197 \cdot 10^{-3}} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

$$25,64 < 76,211$$

→ Není potřeba ověřit průhyb výpočtem

### Směr y

- Součinitel zohledňující nosný systém:  $K = 1,2$
- Požadovaný stupeň vyztužení tahovou výztuží ve středu rozpětí:

$$\rho_y = \frac{a_{s,y}}{b \cdot d_{y,14}} = \frac{607 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 0,248} = 2,448 \cdot 10^{-3}$$

- Referenční stupeň vyztužení:

$$\rho_0 = 10^{-3} \sqrt{f_{ck}} = 10^{-3} \sqrt{30} = 5,48 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_y < \rho_0 \rightarrow \text{Použiji podmínku:}$$

$$\frac{l_y}{d_y} = K \cdot \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_y} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \left( \frac{\rho_0}{\rho_y} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

$$\frac{9}{0,248} = 1,2 \cdot \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{30} \cdot \frac{5,48 \cdot 10^{-3}}{2,448 \cdot 10^{-3}} + 3,2 \cdot \sqrt{30} \left( \frac{5,48 \cdot 10^{-3}}{2,448 \cdot 10^{-3}} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

$$36,29 < 64,261$$

→ Není potřeba ověřit průhyb výpočtem

## 5.2 Deska – lokálně podepřená (na úrovni +8,390 a +4,440)

Stropní desky prvního a druhého podlaží jsou vzhledem k podobnému zatížení posuzovány najednou.

### 5.2.1 Mezní stav únosnosti

**Ohyb - základní rastr doplněný o 3 pruty Ø14 ve směru osy  $x$**

**Ø14/75 mm** – Do každé mezery v základním rastru se vloží 3 pruty Ø14.

- Skutečná plocha výztuže:

$$A_s = \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{14}^2}{4} = \frac{1000}{75} \cdot \frac{\pi \cdot 14^2}{4} = 2053 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Posudek

- Síla ve výztuži:

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 2053 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 892,6 \text{ kN}$$

- Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{892,6 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0558 \text{ m}$$

- Moment únosnosti průřezu:

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d_{x,14} - 0,4 \cdot x) = 892,6 \cdot (0,234 - 0,4 \cdot 0,0558) = 188,9 \text{ kNm/m}$$

$$\mathbf{m_{Rd} = 188,9 \text{ kNm/m}}$$

Konstrukční zásady

- Omezení množství výztuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,275 = 11000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\mathbf{A_{s,max} = 11000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_s = 4106 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2}$$

**VYHOVUJE**

- Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_{sv,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot \phi_{max} \\ d_g + 5 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot 14 \\ 22 + 5 \\ 20 \end{array} \right\} = 27 \text{ mm}$$

$$s_{sv,skut} = s_{os,skut} - \emptyset_{14} = 75 - 14 = 61 \text{ mm}$$

$$s_{sv,min} = 27 \text{ mm} < s_{sv,skut} = 61 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

- Omezení výšky tlačené oblasti:

$$\xi = \frac{x}{d_{x,14}} = \frac{0,0558}{0,234} = 0,238$$

$$\xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

$$\xi_{bal} = 0,617 > \xi = 0,238$$

**VYHOVUJE**

**Ohyb - základní rastr doplněný o 4 pruty  $\emptyset 14$  ve směru osy  $x$**

**$\emptyset 14/60 \text{ mm}$**  – Do každé mezery v základním rastru se vloží 4 pruty  $\emptyset 14$ .

- Skutečná plocha výztuže:

$$A_s = \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \emptyset_{14}^2}{4} = \frac{1000}{60} \cdot \frac{\pi \cdot 14^2}{4} = 2566 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Posudek

- Síla ve výztuži:

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 2566 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 1115,65 \text{ kN}$$

- Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{1115,65 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0697 \text{ m}$$

- Moment únosnosti průřezu:

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d_{x,14} - 0,4 \cdot x) = 1115,65 \cdot (0,234 - 0,4 \cdot 0,0697) = 229,96 \text{ kNm/m}$$

$$\mathbf{m_{Rd} = 229,96 \text{ kNm/m}}$$

Konstrukční zásady

- Omezení množství výztuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,275 = 11000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 11000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_s = 5132 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

**VYHOVUJE**



- Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_{sv,min} = \max \left\{ \frac{1,2 \cdot \phi_{max}}{d_g + 5 \text{ mm}}, \frac{1,2 \cdot 14}{20} \right\} = \left\{ \frac{22 + 5}{20} \right\} = 27 \text{ mm}$$

$$s_{sv,skut} = s_{os,skut} - \phi_{14} = 60 - 14 = 46 \text{ mm}$$

$$s_{sv,min} = 27 \text{ mm} < s_{sv,skut} = 46 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

- Omezení výšky tlačené oblasti:

$$\xi = \frac{x}{d_{x,14}} = \frac{0,0697}{0,234} = 0,298$$

$$\xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

$$\xi_{bal} = 0,617 > \xi = 0,298$$

**VYHOVUJE**

**Ohyb - základní rastr doplněný o 3 pruty Ø14 ve směru osy y**

**Ø14/75 mm** – Do každé mezery v základním rastru se vloží 3 pruty Ø14

- Skutečná plocha výztuže:

$$A_s = \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{14}^2}{4} = \frac{1000}{75} \cdot \frac{\pi \cdot 14^2}{4} = 2053 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Posudek

- Síla ve výztuži:

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 2053 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 892,6 \text{ kN}$$

- Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{892,6 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0558 \text{ m}$$

- Moment únosnosti průřezu:

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d_{y,14} - 0,4 \cdot x) = 892,6 \cdot (0,248 - 0,4 \cdot 0,0558) = 201,44 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Rd} = 201,44 \text{ kNm/m}$$

## Konstrukční zásady

- Omezení množství výztuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,275 = 11000 \cdot 10^{-6} m^2$$

$$A_{s,max} = 11000 \cdot 10^{-6} m^2 > A_s = 4106 \cdot 10^{-6} m^2$$

**VYHOVUJE**

- Minimální světlost vzdálenost výztuže:

$$s_{sv,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot \phi_{max} \\ d_g + 5 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot 14 \\ 22 + 5 \\ 20 \end{array} \right\} = 27 \text{ mm}$$

$$s_{sv,skut} = s_{os,skut} - \phi_{14} = 75 - 14 = 61 \text{ mm}$$

$$s_{sv,min} = 27 \text{ mm} < s_{sv,skut} = 61 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

- Omezení výšky tlačené oblasti:

$$\xi = \frac{x}{d_{y,14}} = \frac{0,0558}{0,248} = 0,225$$

$$\xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

$$\xi_{bal} = 0,617 > \xi = 0,225$$

**VYHOVUJE**

## Ohyb - základní rastr doplněný o 4 pruty Ø14 ve směru osy y

**Ø14/60 mm** – Do každé mezery v základním rastru se vloží 4 pruty Ø14

- Skutečná plocha výztuže:

$$A_s = \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{14}^2}{4} = \frac{1000}{60} \cdot \frac{\pi \cdot 14^2}{4} = 2566 \cdot 10^{-6} m^2$$

## Posudek

- Síla ve výztuži:

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 2566 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 1115,65 \text{ kN}$$

- Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{1115,65 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0697 \text{ m}$$

- Moment únosnosti průřezu:

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d_{y,14} - 0,4 \cdot x) = 1115,65 \cdot (0,248 - 0,4 \cdot 0,0697) = 245,58 \text{ kNm/m}$$

$$\mathbf{m_{Rd} = 245,58 \text{ kNm/m}}$$

#### Konstrukční zásady

- Omezení množství výztuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,275 = 11000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\mathbf{A_{s,max} = 11000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_s = 5132 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

- Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_{sv,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot \phi_{max} \\ d_g + 5 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot 14 \\ 22 + 5 \\ 20 \end{array} \right\} = 27 \text{ mm}$$

$$s_{sv,skut} = s_{os,skut} - \phi_{14} = 60 - 14 = 46 \text{ mm}$$

$$\mathbf{s_{sv,min} = 27 \text{ mm} < s_{sv,skut} = 46 \text{ mm}} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

- Omezení výšky tlačené oblasti:

$$\xi = \frac{x}{d_{y,14}} = \frac{0,0697}{0,248} = 0,281$$

$$\xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

$$\mathbf{\xi_{bal} = 0,617 > \xi = 0,281} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

#### Ohyb – shrnutí únosnosti průřezů

	Směr x [kNm/m]	Směr y [kNm/m]
Ø14/75 mm	188,9	229,96
Ø14/60 mm	201,44	245,58

Tab.14: Shrnutí únosnosti průřezů v ohybu

### Smyková únosnost (protlačení) – Střední sloup

- Celkové rovnoměrné zatížení desky:

$$f_d = g_d + q_d = 11,66 + 5,85 = 17,51 \text{ kN/m}^2$$

- Svislá reakce v podpoře spočtena ručně:

$$R_{Ed,r} = f_d \cdot L_x \cdot L_y = 17,51 \cdot 6 \cdot 9 = 945,54 \text{ kN}$$

- Svislá reakce v podpoře spočtená v programu Scia Engineer:

$$R_{Ed,s} = 1018,14 \text{ kN}$$

Pro další výpočet bude použita hodnota spočtena pomocí programu Scia Engineer.

- Účinná výška desky:

$$d_{eff} = \frac{d_{x,14} + d_{y,14}}{2} = \frac{234 + 248}{2} = 241 \text{ mm}$$

- Délka strany sloupu:

$$c = 0,4 \text{ m}$$

- Nultý kontrolovaný obvod:

$$u_0 = 4 \cdot c = 4 \cdot 0,4 = 1,6 \text{ m}$$

- Délka základního kontrolovaného obvodu:

$$u_1 = 4 \cdot c + 2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot d_{eff} = 4 \cdot 0,4 + 2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 0,241 = 4,63 \text{ m}$$

Redukce svislé síly

- Plocha základního kontrolovaného obvodu:

$$\begin{aligned} A_1 &= c \cdot c + 4 \cdot c \cdot 2 \cdot d_{eff} + \pi \cdot (2 \cdot d_{eff})^2 \\ &= 0,4 \cdot 0,4 + 4 \cdot 0,4 \cdot 2 \cdot 0,241 + \pi \cdot (2 \cdot 0,241)^2 = 1,66 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Redukovaná svislá síla:

$$V_{Ed} = R_{Ed} - A_1 \cdot f_d = 1018,14 - 1,66 \cdot 17,51 = 989,07 \text{ kN}$$

Ověření maximální smykové únosnosti na obvodu sloupu

- Redukční součinitel

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

- Součinitel pro střední sloup:

$$\beta = 1,15$$

- Maximální návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{R_{Ed}}{u_0 \cdot d_{eff}} = 1,15 \cdot \frac{1018,14 \cdot 10^{-3}}{1,6 \cdot 0,241} = 2,640 \text{ MPa}$$

- Maximální únosnost betonu při protlačení na obvodu sloupu:

$$v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,528 \cdot 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,max} = 4,224 \text{ MPa} > v_{Ed} = 2,640 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

Smyková únosnost v základním kontrolovaném obvodu bez smykové výztuže

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{eff}}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{241}} = 1,911 < 2,0$$

- Stupeň vyztužení:

$$\begin{aligned} \rho_{lx} &= \frac{A_{sx}}{(c + 6 \cdot d_{eff}) \cdot d_{x,14}} = \frac{2566 \cdot 1,5 + 1026 \cdot (0,4 + 6 \cdot 0,241 - 1,5)}{(400 + 6 \cdot 241) \cdot 234} \\ &= 0,00973 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{ly} &= \frac{A_{sy}}{(c + 6 \cdot d_{eff}) \cdot d_{y,14}} = \frac{2053 \cdot 1,5 + 1539 \cdot (0,4 + 6 \cdot 0,241 - 1,5)}{(400 + 6 \cdot 241) \cdot 248} \\ &= 0,00789 \end{aligned}$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} = \sqrt{0,00973 \cdot 0,00789} = 0,00876 < 0,02$$

- Návrhová únosnost ve smyku při protlačení:

$$\begin{aligned} v_{Rd,c} &= C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} = \frac{0,18}{1,5} \cdot 1,911 \cdot (100 \cdot 0,00876 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} \\ &= 0,682 \text{ MPa} > v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,911^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} \\ &= 0,506 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_1 \cdot d_{eff}} = 1,15 \cdot \frac{989,07 \cdot 10^{-3}}{4,63 \cdot 0,241} = 1,019 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,c} = 0,682 \text{ MPa} < v_{Ed} = 1,019 \text{ MPa}$$

**NEVYHOVUJE**

→ Nutno navrhnout smykovou výztuž

### Návrh smykové výztuže

- Síla na délku kontrolovaného obvodu včetně vlivu momentu:

$$\bar{V}_{Ed} = \beta \cdot V_{Ed} = 1,15 \cdot 0,98907 = 1,137 \text{ MN}$$

- Délka kontrolovaného obvodu, kde již není nutná smyková výztuž:

$$u_{out} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d_{eff}} = 1,15 \cdot \frac{0,98907}{0,682 \cdot 0,241} = 6,92 \text{ m}$$

- Vzdálenost kontrolovaného obvodu, kde již není nutná smyková výztuž, od líce sloupu:

$$r_{out} = \frac{u_{out} - 4 \cdot c}{2 \cdot \pi} = \frac{6,92 - 4 \cdot 0,4}{2 \cdot \pi} = 0,847 \text{ m}$$

- Návrh třmínkové smykové výztuže v radiálním směru:

$$s_{r,max} = 0,75 \cdot d_{eff} = 0,75 \cdot 241 = 181 \text{ mm}$$

$$s_r = 175 \text{ mm}$$

- Celkový počet prutů na celý 1. kontrolovaný obvod:

$$n_s = 12$$

- Počet započítatelných obvodů smykové výztuže:

$$n_0 = \frac{1,5 \cdot d_{eff}}{s_r} = \frac{1,5 \cdot 0,241}{0,175} = 2,07$$

- Pevnost smykové výztuže:

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 \cdot d_{eff} = 250 + 0,25 \cdot 241 = 310,25 \text{ MPa} < f_{ywd} = \frac{500}{1,15} \\ = 434,78 \text{ MPa}$$

- Síla přenesená betonem na délku kontrolovaného obvodu:

$$V_{Rd,c} = v_{Rd,c} \cdot d_{eff} \cdot u_1 = 0,682 \cdot 0,241 \cdot 4,63 = 0,761 \text{ MN}$$

- Síla, kterou musí přenést smyková výztuž na délku obvodu:

$$V_{Rd,s} = \bar{V}_{Ed} - 0,75 \cdot V_{Rd,c} = 1,137 - 0,75 \cdot 0,761 = 0,566 \text{ MN}$$

- Minimální nutná plocha smykové výztuže prvního kontrolovaného obvodu:

$$A_{sw,k} = \frac{V_{Rd,s}}{\sin \alpha \cdot f_{ywd,ef}} = \frac{0,566}{\sin 90^\circ \cdot 310,25} = 1824 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Minimální započitatelná plocha jednoho obvodu výztuže:

$$A_{sw,min} = \frac{A_{sw,k}}{n_0} = \frac{1824 \cdot 10^{-6}}{2,07} = 881 \cdot 10^{-6} m^2$$

Návrh: 12Ø10

- Započitatelná plocha jednoho obvodu výztuže:

$$A_{sw} = n_s \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{10}^2}{4} = 12 \cdot \frac{\pi \cdot 10^2}{4} = 942 \cdot 10^{-6} m^2$$

- Návrhová únosnost ve smyku při protlačení se smykovou výztuží:

$$\begin{aligned} v_{Rd,cs} &= 0,75 \cdot v_{Rd,c} + 1,5 \cdot \frac{d_{eff}}{s_r} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \frac{1}{u_1 \cdot d_{eff}} \cdot \sin \alpha \\ &= 0,75 \cdot 0,682 + 1,5 \cdot \frac{0,241}{0,175} \cdot 942 \cdot 10^{-6} \cdot 310,25 \cdot \frac{1}{4,63 \cdot 0,241} \\ &\quad \cdot \sin 90^\circ = 1,053 MPa < k_{max} \cdot v_{Rd,c} = 1,96 \cdot 0,682 = 1,309 MPa \end{aligned}$$

$$v_{Rd,cs} = 1,053 MPa < v_{Ed} = 1,019 MPa$$

**VYHOVUJE**

Konstrukční zásady

- Maximální vzdálenost jednotlivých řad výztuže:

$$s_{r,max} = 0,75 \cdot d_{eff} = 0,75 \cdot 241 = 181 mm$$

- Maximální vzdálenost poslední řady výztuže od obvodu nevyžadujícím smykovou výztuž:

$$1,5 \cdot d_{eff} = 1,5 \cdot 241 = 362 mm$$

- Maximální vzdálenost první řady výztuže od sloupu:

$$0,5 \cdot d_{eff} = 0,5 \cdot 241 = 120 mm$$

- Minimální vzdálenost první řady výztuže od sloupu:

$$0,3 \cdot d_{eff} = 0,3 \cdot 241 = 72 mm$$

- Maximální tangenciální vzdálenost trnů v řadě v prvním kontrolním obvodu:

$$s_{t,max} = 1,5 \cdot d_{eff} = 1,5 \cdot 241 = 362 mm$$

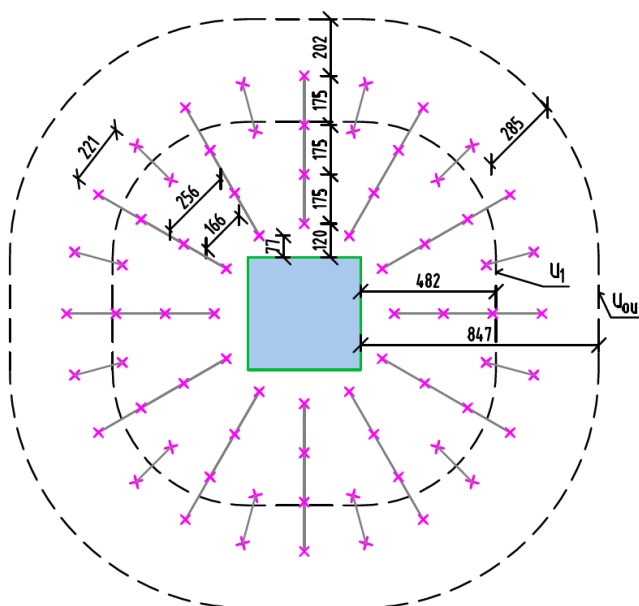
- Minimální stupeň vyztužení:

$$\rho_{sw,2} = 1,5 \cdot \frac{A_{sw}}{s_r \cdot s_{t,2}} = 1,5 \cdot \frac{942 \cdot 10^{-6}}{0,175 \cdot 0,256} = 0,032$$

$$\rho_{sw,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

## VYHOVUJE

## VYHOVUJE



Výztuž proti protlačení je navržena od firmy PEIKKO 12xPSB – 10/235-4/725 (100/3\*175/100) a 12xPSB – 10/235-2/375 (100/1\*175/100). Součinitel  $k_{max} = 1,96$  použitý ve výpočtu, který omezuje maximální únosnost desky na protlačení s výztuží je uveden výrobcem v technickém manuálu [12].

- Celkové rovnoměrné zatížení desky:

- Svislá reakce v podpoře spočtena ručně:

103



- Svislá reakce v podpoře spočtená v programu Scia Engineer:

$$R_{Ed,S} = 384,99 \text{ kN}$$

Pro další výpočet bude použita hodnota spočtena pomocí programu Scia Engineer.

- Účinná výška desky:

$$d_{eff} = \frac{d_{x,14} + d_{y,14}}{2} = \frac{234 + 248}{2} = 241 \text{ mm}$$

- Délka strany sloupu:

$$c = 0,4 \text{ m}$$

- Nultý kontrolovaný obvod:

$$u_0 = 3 \cdot c = 3 \cdot 0,4 = 1,2 \text{ m}$$

- Délka základního kontrolovaného obvodu:

$$u_1 = 3 \cdot c + \pi \cdot 2 \cdot d_{eff} = 3 \cdot 0,4 + \pi \cdot 2 \cdot 0,241 = 2,714 \text{ m}$$

Redukce svislé síly

- Plocha základního kontrolovaného obvodu:

$$\begin{aligned} A_1 &= c \cdot c + 3 \cdot c \cdot 2 \cdot d_{eff} + \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot (2 \cdot d_{eff})^2 \\ &= 0,4 \cdot 0,4 + 3 \cdot 0,4 \cdot 2 \cdot 0,241 + \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot (2 \cdot 0,241)^2 = 1,10 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Redukovaná svislá síla:

$$V_{Ed} = R_{Ed} - A_1 \cdot f_d = 384,99 - 1,10 \cdot 17,51 = 365,73 \text{ kN}$$

Ověření maximální smykové únosnosti na obvodu sloupu

- Redukční součinitel

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

- Součinitel pro krajní sloup:

$$\beta = 1,40$$

- Maximální návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{R_{Ed}}{u_0 \cdot d_{eff}} = 1,40 \cdot \frac{384,99 \cdot 10^{-3}}{1,2 \cdot 0,241} = 1,864 \text{ MPa}$$

- Maximální únosnost betonu při protlačení na obvodu sloupu:

$$v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,528 \cdot 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,max} = 4,224 \text{ MPa} > v_{Ed} = 1,864 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

Smyková únosnost v základním kontrolovaném obvodě bez smykové výztuže

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{eff}}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{241}} = 1,911 < 2,0$$

- Stupeň vyztužení:

$$\rho_{lx} = \frac{A_{sx}}{(c + 6 \cdot d_{eff}) \cdot d_{x,14}} = \frac{1539 \cdot 1,5 + 513 \cdot (0,4 + 6 \cdot 0,241 - 1,5)}{(400 + 6 \cdot 241) \cdot 234} = 0,00576$$

$$\rho_{ly} = \frac{A_{sy}}{(c + 6 \cdot d_{eff}) \cdot d_{y,14}} = \frac{1026 \cdot 0,95 + 513 \cdot (0,4 + 3 \cdot 0,241 - 0,95)}{(400 + 3 \cdot 241) \cdot 248} = 0,00382$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} = \sqrt{0,00576 \cdot 0,00382} = 0,00469 < 0,02$$

- Návrhová únosnost ve smyku při protlačení:

$$\begin{aligned} v_{Rd,c} &= C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} = \frac{0,18}{1,5} \cdot 1,911 \cdot (100 \cdot 0,00469 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} \\ &= 0,554 \text{ MPa} > v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,911^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} \\ &= 0,506 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_1 \cdot d_{eff}} = 1,40 \cdot \frac{365,73 \cdot 10^{-3}}{2,714 \cdot 0,241} = 0,783 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,c} = 0,554 \text{ MPa} < v_{Ed} = 0,783 \text{ MPa}$$

**NEVYHOVUJE**

→ Nutno navrhnout smykovou výztuž

Návrh smykové výztuže

- Síla na délku kontrolovaného obvodu včetně vlivu momentu:

$$\bar{V}_{Ed} = \beta \cdot V_{Ed} = 1,40 \cdot 0,36573 = 0,512 \text{ MN}$$

- Délka kontrolovaného obvodu, kde již není nutná smyková výztuž:

$$u_{out} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d_{eff}} = 1,40 \cdot \frac{0,36573}{0,554 \cdot 0,241} = 3,835 \text{ m}$$

- Vzdálenost kontrolovaného obvodu, kde již není nutná smyková výztuž, od líce sloupu:

$$r_{out} = \frac{u_{out} - 3 \cdot c}{\pi} = \frac{3,835 - 3 \cdot 0,4}{\pi} = 0,839 \text{ m}$$

- Návrh třmínkové smykové výztuže v radiálním směru:

$$s_{r,max} = 0,75 \cdot d_{eff} = 0,75 \cdot 241 = 181 \text{ mm}$$

$$s_r = 175 \text{ mm}$$

- Celkový počet prutů na celý 1. kontrolovaný obvod:

$$n_s = 7$$

- Počet započitatelných obvodů smykové výztuže:

$$n_0 = \frac{1,5 \cdot d_{eff}}{s_r} = \frac{1,5 \cdot 0,241}{0,175} = 2,07$$

- Pevnost smykové výztuže:

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 \cdot d_{eff} = 250 + 0,25 \cdot 241 = 310,25 \text{ MPa} < f_{ywd} = \frac{500}{1,15} \\ = 434,78 \text{ MPa}$$

- Síla přenesená betonem na délku kontrolovaného obvodu:

$$V_{Rd,c} = v_{Rd,c} \cdot d_{eff} \cdot u_1 = 0,554 \cdot 0,241 \cdot 2,714 = 0,362 \text{ MN}$$

- Síla, kterou musí přenést smyková výztuž na délku obvodu:

$$V_{Rd,s} = \bar{V}_{Ed} - 0,75 \cdot V_{Rd,c} = 0,512 - 0,75 \cdot 0,362 = 0,241 \text{ MN}$$

- Minimální nutná plocha smykové výztuže prvního kontrolovaného obvodu:

$$A_{sw,k} = \frac{V_{Rd,s}}{\sin \alpha \cdot f_{ywd,ef}} = \frac{0,241}{\sin 90^\circ \cdot 310,25} = 777 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Minimální započitatelná plocha jednoho obvodu výztuže:

$$A_{sw,min} = \frac{A_{sw,k}}{n_0} = \frac{777 \cdot 10^{-6}}{2,07} = 375 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Návrh: 7Ø10

- Započitatelná plocha jednoho obvodu výztuže:

$$A_{sw} = n_s \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{10}^2}{4} = 7 \cdot \frac{\pi \cdot 10^2}{4} = 550 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Návrhová únosnost ve smyku při protlačení se smykovou výztuží:

$$\begin{aligned} v_{Rd,cs} &= 0,75 \cdot v_{Rd,c} + 1,5 \cdot \frac{d_{eff}}{s_r} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \frac{1}{u_1 \cdot d_{eff}} \cdot \sin \alpha \\ &= 0,75 \cdot 0,554 + 1,5 \cdot \frac{0,241}{0,175} \cdot 550 \cdot 10^{-6} \cdot 310,25 \cdot \frac{1}{2,714 \cdot 0,241} \\ &\quad \cdot \sin 90^\circ = 0,954 \text{ MPa} < k_{max} \cdot v_{Rd,c} = 1,96 \cdot 0,554 = 1,086 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$v_{Rd,cs} = \mathbf{0,954 \text{ MPa}} < v_{Ed} = \mathbf{0,783 \text{ MPa}}$$

**VYHOVUJE**

### Konstrukční zásady

- Maximální vzdálenost jednotlivých řad výztuže:

$$s_{r,max} = 0,75 \cdot d_{eff} = 0,75 \cdot 241 = 181 \text{ mm}$$

- Maximální vzdálenost poslední řady výztuže od obvodu nevyžadujícím smykovou výztuž:

$$1,5 \cdot d_{eff} = 1,5 \cdot 241 = 362 \text{ mm}$$

- Maximální vzdálenost první řady výztuže od sloupu:

$$0,5 \cdot d_{eff} = 0,5 \cdot 241 = 120 \text{ mm}$$

- Minimální vzdálenost první řady výztuže od sloupu:

$$0,3 \cdot d_{eff} = 0,3 \cdot 241 = 72 \text{ mm}$$

- Maximální tangenciální vzdálenost trnů v řadě v prvním kontrolním obvodu:

$$s_{t,max} = 1,5 \cdot d_{eff} = 1,5 \cdot 241 = 362 \text{ mm}$$

- Minimální stupeň vyztužení:

$$\rho_{sw,2} = 1,5 \cdot \frac{A_{sw}}{s_r \cdot s_{t,2}} = 1,5 \cdot \frac{550 \cdot 10^{-6}}{0,175 \cdot 0,256} = 0,018$$

$$\rho_{sw,4} = 1,5 \cdot \frac{A_{sw}}{s_r \cdot s_{t,4}} = 1,5 \cdot \frac{1021 \cdot 10^{-6}}{0,175 \cdot 0,221} = 0,040$$

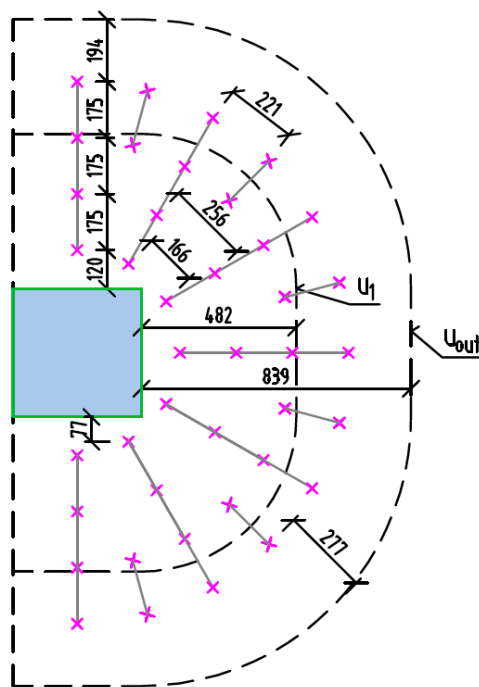
$$\rho_{sw,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$\rho_{sw,min} = 0,00088 < \rho_{sw,2} = 0,018$$

**VYHOVUJE**

$$\rho_{sw,min} = 0,00088 < \rho_{sw,4} = 0,040$$

**VYHOVUJE**



Obr. 89: Výztuž na protlačení krajního sloupu

Výztuže proti protlačení je navržena od firmy PEIKKO 7xPSB – 10/235-4/725 (100/3\*175/100) a 6xPSB – 10/235-2/375 (100/1\*175/100).

### Smyková únosnost (protlačení) – Rohový sloup

- Celkové rovnoměrné zatížení desky:

$$f_d = g_d + q_d = 11,66 + 5,85 = 17,51 \text{ kN/m}^2$$

- Svislá reakce v podpoře spočtena ručně:

$$R_{Ed,r} = f_d \cdot 0,5 \cdot L_x \cdot 0,5 \cdot L_y = 17,51 \cdot 0,5 \cdot 6 \cdot 0,5 \cdot 9 = 236,39 \text{ kN}$$

- Svislá reakce v podpoře spočtená v programu Scia Engineer:

$$R_{Ed,s} = 180,29 \text{ kN}$$

Pro další výpočet bude použita hodnota spočtena pomocí programu Scia Engineer.

- Účinná výška desky:

$$d_{eff} = \frac{d_{x,14} + d_{y,14}}{2} = \frac{234 + 248}{2} = 241 \text{ mm}$$

- Délka strany sloupu:  $c = 0,4 \text{ m}$
- Nultý kontrolovaný obvod:  $u_0 = 2 \cdot c = 2 \cdot 0,4 = 0,8 \text{ m}$
- Délka základního kontrolovaného obvodu:

$$u_1 = 2 \cdot c + 0,5 \cdot \pi \cdot 2 \cdot d_{eff} = 2 \cdot 0,4 + 0,5 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 0,241 = 1,557 \text{ m}$$

Redukce svislé síly

- Plocha základního kontrolovaného obvodu:

$$\begin{aligned} A_1 &= c \cdot c + 2 \cdot c \cdot 2 \cdot d_{eff} + 0,25 \cdot \pi \cdot (2 \cdot d_{eff})^2 \\ &= 0,4 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,4 \cdot 2 \cdot 0,241 + 0,25 \cdot \pi \cdot (2 \cdot 0,241)^2 = 0,73 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Redukovaná svislá síla:

$$V_{Ed} = R_{Ed} - A_1 \cdot f_d = 180,29 - 0,73 \cdot 17,51 = 167,51 \text{ kN}$$

Ověření maximální smykové únosnosti na obvodu sloupu

- Redukční součinitel

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

- Součinitel pro rohový sloup:

$$\beta = 1,50$$

- Maximální návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{R_{Ed}}{u_0 \cdot d_{eff}} = 1,50 \cdot \frac{180,29 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 0,241} = 1,403 \text{ MPa}$$

- Maximální únosnost betonu při protlačení na obvodu sloupu:

$$v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,528 \cdot 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,max} = 4,224 \text{ MPa} > v_{Ed} = 1,403 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

Smyková únosnost v základním kontrolovaném obvodu bez smykové výztuže

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{eff}}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{241}} = 1,911 < 2,0$$

- Stupeň vyztužení:

$$\rho_{lx} = \frac{A_{sx}}{(c + 6 \cdot d_{eff}) \cdot d_{x,14}} = \frac{775 \cdot 0,95 + 513 \cdot (0,4 + 3 \cdot 0,241 - 0,95)}{(400 + 3 \cdot 241) \cdot 234} = 0,00314$$

$$\rho_{ly} = \frac{A_{sy}}{(c + 6 \cdot d_{eff}) \cdot d_{y,14}} = \frac{1539 \cdot 0,95 + 513 \cdot (0,4 + 3 \cdot 0,241 - 0,95)}{(400 + 3 \cdot 241) \cdot 248} = 0,00557$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} = \sqrt{0,00314 \cdot 0,00557} = 0,00418 < 0,02$$

- Návrhová únosnost ve smyku při protlačení:

$$\begin{aligned} v_{Rd,c} &= C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} = \frac{0,18}{1,5} \cdot 1,911 \cdot (100 \cdot 0,00418 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} \\ &= 0,533 \text{ MPa} > v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,911^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} \\ &= 0,506 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_1 \cdot d_{eff}} = 1,50 \cdot \frac{167,51 \cdot 10^{-3}}{1,557 \cdot 0,241} = 0,670 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,c} = 0,533 \text{ MPa} < v_{Ed} = 0,670 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

→ Nutno navrhnout smykovou výztuž

Návrh smykové výztuže

- Síla na délku kontrolovaného obvodu včetně vlivu momentu:

$$\bar{V}_{Ed} = \beta \cdot V_{Ed} = 1,50 \cdot 0,16751 = 0,251 \text{ MN}$$

- Délka kontrolovaného obvodu, kde již není nutná smyková výztuž:

$$u_{out} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d_{eff}} = 1,50 \cdot \frac{0,16751}{0,533 \cdot 0,241} = 1,956 \text{ m}$$

- Vzdálenost kontrolovaného obvodu, kde již není nutná smyková výztuž, od líce sloupu:

$$r_{out} = \frac{u_{out} - 2 \cdot c}{0,5 \cdot \pi} = \frac{1,956 - 2 \cdot 0,4}{0,5 \cdot \pi} = 0,736 \text{ m}$$

- Návrh třmínkové smykové výztuže v radiálním směru:

$$s_{r,max} = 0,75 \cdot d_{eff} = 0,75 \cdot 241 = 181 \text{ mm}$$

$$s_r = 175 \text{ mm}$$

- Celkový počet prutů na celý 1. kontrolovaný obvod:

$$n_s = 4$$

- Počet započitatelných obvodů smykové výztuže:

$$n_0 = \frac{1,5 \cdot d_{eff}}{s_r} = \frac{1,5 \cdot 0,241}{0,175} = 2,07$$

- Pevnost smykové výztuže:

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 \cdot d_{eff} = 250 + 0,25 \cdot 241 = 310,25 \text{ MPa} < f_{ywd} = \frac{500}{1,15} \\ = 434,78 \text{ MPa}$$

- Síla přenesená betonem na délku kontrolovaného obvodu:

$$V_{Rd,c} = v_{Rd,c} \cdot d_{eff} \cdot u_1 = 0,533 \cdot 0,241 \cdot 1,557 = 0,200 \text{ MN}$$

- Síla, kterou musí přenést smyková výztuž na délku obvodu:

$$V_{Rd,s} = \bar{V}_{Ed} - 0,75 \cdot V_{Rd,c} = 0,251 - 0,75 \cdot 0,200 = 0,101 \text{ MN}$$

- Minimální nutná plocha smykové výztuže prvního kontrolovaného obvodu:

$$A_{sw,k} = \frac{V_{Rd,s}}{\sin \alpha \cdot f_{ywd,ef}} = \frac{0,101}{\sin 90^\circ \cdot 310,25} = 326 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Minimální započitatelná plocha jednoho obvodu výztuže:

$$A_{sw,min} = \frac{A_{sw,k}}{n_0} = \frac{326 \cdot 10^{-6}}{2,07} = 157 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Návrh: 4Ø10

- Započitatelná plocha jednoho obvodu výztuže:

$$A_{sw} = n_s \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{10}^2}{4} = 4 \cdot \frac{\pi \cdot 10^2}{4} = 314 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$



- Návrhová únosnost ve smyku při protlačení se smykovou výztuží:

$$\begin{aligned}
 v_{Rd,cs} &= 0,75 \cdot v_{Rd,c} + 1,5 \cdot \frac{d_{eff}}{s_r} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \frac{1}{u_1 \cdot d_{eff}} \cdot \sin \alpha \\
 &= 0,75 \cdot 0,533 + 1,5 \cdot \frac{0,241}{0,175} \cdot 314 \cdot 10^{-6} \cdot 310,25 \cdot \frac{1}{1,557 \cdot 0,241} \\
 &\quad \cdot \sin 90^\circ = 0,936 \text{ MPa} < k_{max} \cdot v_{Rd,c} = 1,96 \cdot 0,533 = 1,045 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$v_{Rd,cs} = 0,936 \text{ MPa} < v_{Ed} = 0,670 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

Konstrukční zásady

- Maximální vzdálenost jednotlivých řad výztuže:

$$s_{r,max} = 0,75 \cdot d_{eff} = 0,75 \cdot 241 = 181 \text{ mm}$$

- Maximální vzdálenost poslední řady výztuže od obvodu nevyžadujícím smykovou výztuž:

$$1,5 \cdot d_{eff} = 1,5 \cdot 241 = 362 \text{ mm}$$

- Maximální vzdálenost první řady výztuže od sloupu:

$$0,5 \cdot d_{eff} = 0,5 \cdot 241 = 120 \text{ mm}$$

- Minimální vzdálenost první řady výztuže od sloupu:

$$0,3 \cdot d_{eff} = 0,3 \cdot 241 = 72 \text{ mm}$$

- Maximální tangenciální vzdálenost trnů v řadě v prvním kontrolním obvodu:

$$s_{t,max} = 1,5 \cdot d_{eff} = 1,5 \cdot 241 = 362 \text{ mm}$$

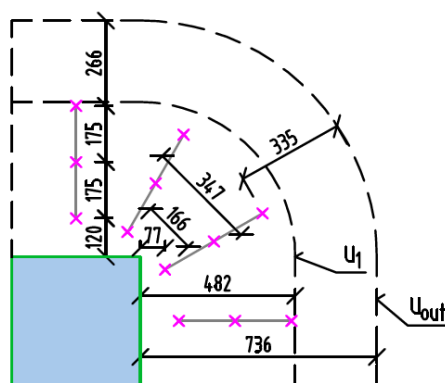
- Minimální stupeň vyztužení:

$$\rho_{sw,3} = 1,5 \cdot \frac{A_{sw}}{s_r \cdot s_{t,3}} = 1,5 \cdot \frac{314 \cdot 10^{-6}}{0,175 \cdot 0,347} = 0,008$$

$$\rho_{sw,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$\rho_{sw,min} = 0,00088 < \rho_{sw,3} = 0,008$$

**VYHOVUJE**



Obr. 90: Výztuž na protlačení rohového sloupu

Výztuže proti protlačení je navržena od firmy PEIKKO 4xPSB – 10/235-3/550 (100/2\*175/100).

### Smyková únosnost (protlačení) – vnitřní rohový sloup

- Celkové rovnoměrné zatížení desky:

$$f_d = g_d + q_d = 11,66 + 5,85 = 17,51 \text{ kN/m}^2$$

- Svislá reakce v podpoře spočtená v programu Scia Engineer:

$$R_{Ed,s} = 428,84 \text{ kN}$$

- Účinná výška desky:

$$d_{eff} = \frac{d_{x,14} + d_{y,14}}{2} = \frac{234 + 248}{2} = 241 \text{ mm}$$

- Délka strany sloupu:

$$c = 0,4 \text{ m}$$

- Nultý kontrolovaný obvod:

$$u_0 = 4 \cdot c = 4 \cdot 0,4 = 1,6 \text{ m}$$

- Délka základního kontrolovaného obvodu:

$$u_1 = 4 \cdot c + \frac{3}{4} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot d_{eff} = 4 \cdot 0,4 + \frac{3}{4} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 0,241 = 3,871 \text{ m}$$

### Redukce svislé síly

- Plocha základního kontrolovaného obvodu:

$$\begin{aligned} A_1 &= c \cdot c + 4 \cdot c \cdot 2 \cdot d_{eff} + \frac{3}{4} \cdot \pi \cdot (2 \cdot d_{eff})^2 \\ &= 0,4 \cdot 0,4 + 4 \cdot 0,4 \cdot 2 \cdot 0,241 + \frac{3}{4} \cdot \pi \cdot (2 \cdot 0,241)^2 = 1,48 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Redukovaná svislá síla:

$$V_{Ed} = R_{Ed} - A_1 \cdot f_d = 428,84 - 1,48 \cdot 17,51 = 402,93 \text{ kN}$$

Ověření maximální smykové únosnosti na obvodu sloupu

- Redukční součinitel

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

- Součinitel pro krajní sloup:

$$\beta = 1,40$$

- Maximální návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{R_{Ed}}{u_0 \cdot d_{eff}} = 1,40 \cdot \frac{428,84 \cdot 10^{-3}}{1,6 \cdot 0,241} = 1,557 \text{ MPa}$$

- Maximální únosnost betonu při protlačení na obvodu sloupu:

$$v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,528 \cdot 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,max} = 4,224 \text{ MPa} > v_{Ed} = 1,557 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

Smyková únosnost v základním kontrolovaném obvodě bez smykové výztuže

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{eff}}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{241}} = 1,911 < 2,0$$

- Stupeň vyztužení:

$$\rho_{lx} = \frac{A_{sx}}{(c + 6 \cdot d_{eff}) \cdot d_{x,14}} = \frac{1539 \cdot 1,5 + 513 \cdot (0,4 + 6 \cdot 0,241 - 1,5)}{(400 + 6 \cdot 241) \cdot 234} = 0,00576$$

$$\rho_{ly} = \frac{A_{sy}}{(c + 6 \cdot d_{eff}) \cdot d_{y,14}} = \frac{1539 \cdot 1,5 + 513 \cdot (0,4 + 6 \cdot 0,241 - 1,5)}{(400 + 6 \cdot 241) \cdot 248} = 0,00543$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} = \sqrt{0,00576 \cdot 0,00543} = 0,00559 < 0,02$$

- Návrhová únosnost ve smyku při protlačení:

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} = \frac{0,18}{1,5} \cdot 1,911 \cdot (100 \cdot 0,00559 \cdot 30)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 0,587 \text{ MPa} > v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,911^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}}$$

$$= 0,506 \text{ MPa}$$

- Návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_1 \cdot d_{eff}} = 1,40 \cdot \frac{402,93 \cdot 10^{-3}}{3,871 \cdot 0,241} = 0,605 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,c} = 0,587 \text{ MPa} < v_{Ed} = 0,605 \text{ MPa}$$

**NEVYHOVUJE**

→ Nutno navrhnout smykovou výztuž

Návrh smykové výztuže

- Síla na délku kontrolovaného obvodu včetně vlivu momentu:

$$\bar{V}_{Ed} = \beta \cdot V_{Ed} = 1,40 \cdot 0,40293 = 0,564 \text{ MN}$$

- Délka kontrolovaného obvodu, kde již není nutná smyková výztuž:

$$u_{out} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d_{eff}} = 1,40 \cdot \frac{0,40293}{0,587 \cdot 0,241} = 3988 \text{ m}$$

- Vzdálenost kontrolovaného obvodu, kde již není nutná smyková výztuž, od líce sloupu:

$$r_{out} = \frac{u_{out} - 4 \cdot c}{1,5 \cdot \pi} = \frac{3,988 - 4 \cdot 0,4}{1,5 \cdot \pi} = 0,507 \text{ m}$$

- Návrh třmínkové smykové výztuže v radiálním směru:

$$s_{r,max} = 0,75 \cdot d_{eff} = 0,75 \cdot 241 = 181 \text{ mm}$$

$$s_r = 175 \text{ mm}$$

- Celkový počet prutů na celý 1. kontrolovaný obvod:

$$n_s = 10$$

- Počet započitatelných obvodů smykové výztuže:

$$n_0 = \frac{1,5 \cdot d_{eff}}{s_r} = \frac{1,5 \cdot 0,241}{0,175} = 2,07$$

- Pevnost smykové výztuže:

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 \cdot d_{eff} = 250 + 0,25 \cdot 241 = 310,25 \text{ MPa} < f_{ywd} = \frac{500}{1,15} \\ = 434,78 \text{ MPa}$$

- Síla přenesená betonem na délku kontrolovaného obvodu:

$$V_{Rd,c} = v_{Rd,c} \cdot d_{eff} \cdot u_1 = 0,587 \cdot 0,241 \cdot 3,871 = 0,548 \text{ MN}$$

- Síla, kterou musí přenést smyková výztuž na délku obvodu:

$$V_{Rd,s} = \bar{V}_{Ed} - 0,75 \cdot V_{Rd,c} = 0,564 - 0,75 \cdot 0,548 = 0,153 \text{ MN}$$

- Minimální nutná plocha smykové výztuže prvního kontrolovaného obvodu:

$$A_{sw,k} = \frac{V_{Rd,s}}{\sin \alpha \cdot f_{ywd,ef}} = \frac{0,153}{\sin 90^\circ \cdot 310,25} = 493 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Minimální započitatelná plocha jednoho obvodu výztuže:

$$A_{sw,min} = \frac{A_{sw,k}}{n_0} = \frac{493 \cdot 10^{-6}}{2,07} = 238 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Návrh: 10Ø10

- Započitatelná plocha jednoho obvodu výztuže:

$$A_{sw} = n_s \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{10}^2}{4} = 10 \cdot \frac{\pi \cdot 10^2}{4} = 785 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Návrhová únosnost ve smyku při protlačení se smykovou výztuží:

$$v_{Rd,cs} = 0,75 \cdot v_{Rd,c} + 1,5 \cdot \frac{d_{eff}}{s_r} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \frac{1}{u_1 \cdot d_{eff}} \cdot \sin \alpha \\ = 0,75 \cdot 0,587 + 1,5 \cdot \frac{0,241}{0,175} \cdot 785 \cdot 10^{-6} \cdot 310,25 \cdot \frac{1}{3,871 \cdot 0,241} \\ \cdot \sin 90^\circ = 0,980 \text{ MPa} < k_{max} \cdot v_{Rd,c} = 1,96 \cdot 0,587 = 1,151 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,cs} = 0,980 \text{ MPa} < v_{Ed} = 0,605 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

Konstrukční zásady

- Maximální vzdálenost jednotlivých řad výztuže:

$$s_{r,max} = 0,75 \cdot d_{eff} = 0,75 \cdot 241 = 181 \text{ mm}$$

- Maximální vzdálenost poslední řady výztuže od obvodu nevyžadujícím smykovou výztuž:

$$1,5 \cdot d_{eff} = 1,5 \cdot 241 = 362 \text{ mm}$$

- Maximální vzdálenost první řady výztuže od sloupu:

$$0,5 \cdot d_{eff} = 0,5 \cdot 241 = 120 \text{ mm}$$

- Minimální vzdálenost první řady výztuže od sloupu:

$$0,3 \cdot d_{eff} = 0,3 \cdot 241 = 72 \text{ mm}$$

- Maximální tangenciální vzdálenost trnů v řadě v prvním kontrolním obvodu:

$$s_{t,max} = 1,5 \cdot d_{eff} = 1,5 \cdot 241 = 362 \text{ mm}$$

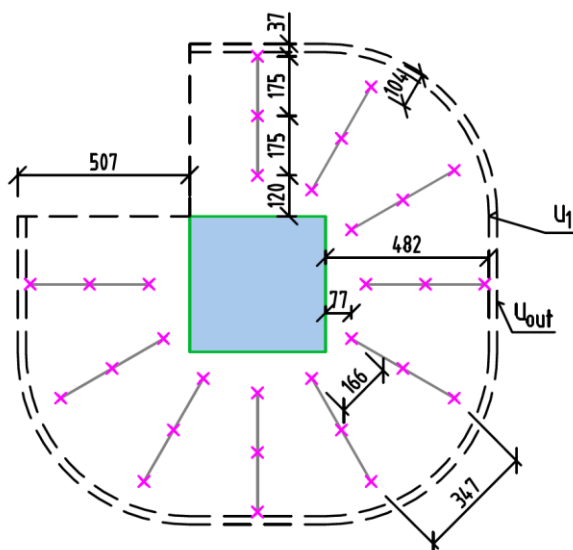
- Minimální stupeň vyztužení:

$$\rho_{sw,3} = 1,5 \cdot \frac{A_{sw}}{s_r \cdot s_{t,2}} = 1,5 \cdot \frac{785 \cdot 10^{-6}}{0,175 \cdot 0,347} = 0,019$$

$$\rho_{sw,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$\rho_{sw,min} = 0,00088 < \rho_{sw,2} = 0,019$$

**VYHOVUJE**



Obr. 91: Výztuž na protlačení vnitřního rohového sloupu

Výztuže proti protlačení je navržena od firmy PEIKKO 10xPSB – 10/235-3/550 (100/2\*175/100).

### Smyková únosnost (protlačení) – Konec ztužující stěny

- Návrhová smyková síla spočtená v programu Scia Engineer:

$$V_{Ed} = 214,13 \text{ kN}$$

- Účinná výška desky:

$$d_{eff} = \frac{d_{x,14} + d_{y,14}}{2} = \frac{234 + 248}{2} = 241 \text{ mm}$$

- Tloušťka stěny:

$$b = 0,25 \text{ m}$$

- Nultý kontrolovaný obvod:

$$u_0 = 2 \cdot b = 2 \cdot 0,25 = 0,5 \text{ m}$$

- Délka základního kontrolovaného obvodu:

$$u_1 = 2 \cdot b + \pi \cdot 2 \cdot d_{eff} = 2 \cdot 0,25 + \pi \cdot 2 \cdot 0,241 = 2,014 \text{ m}$$

Ověření maximální smykové únosnosti na obvodu sloupu

- Redukční součinitel

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

- Součinitel pro konec stěny:

$$\beta = 1,35$$

- Maximální návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_0 \cdot d_{eff}} = 1,35 \cdot \frac{214,13 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 0,241} = 2,399 \text{ MPa}$$

- Maximální únosnost betonu při protlačení na obvodu sloupu:

$$v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,528 \cdot 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,max} = 4,224 \text{ MPa} > v_{Ed} = 2,399 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

Smyková únosnost v základním kontrolovaném obvodu bez smykové výztuže

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{eff}}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{241}} = 1,911 < 2,0$$

- Stupeň vyztužení:

$$\rho_{lx} = \frac{A_{sx}}{b \cdot d_{x,14}} = \frac{513}{1000 \cdot 234} = 0,00219$$

$$\rho_{ly} = \frac{A_{sy}}{b \cdot d_{y,14}} = \frac{1539}{1000 \cdot 248} = 0,00621$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} = \sqrt{0,00219 \cdot 0,00621} = 0,00369 < 0,02$$

- Návrhová únosnost ve smyku při protlačení:

$$\begin{aligned} v_{Rd,c} &= C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} = \frac{0,18}{1,5} \cdot 1,911 \cdot (100 \cdot 0,00369 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} \\ &= 0,511 \text{ MPa} > v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,911^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} \\ &= 0,506 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_1 \cdot d_{eff}} = 1,35 \cdot \frac{214,13 \cdot 10^{-3}}{2,014 \cdot 0,241} = 0,596 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,c} = 0,511 \text{ MPa} < v_{Ed} = 0,528 \text{ MPa}$$

**NEVYHOVUJE**

→ Nutno navrhnout smykovou výztuž

Návrh smykové výztuže

- Síla na délku kontrolovaného obvodu včetně vlivu momentu:

$$\bar{V}_{Ed} = \beta \cdot V_{Ed} = 1,35 \cdot 0,21413 = 0,289 \text{ MN}$$

- Délka kontrolovaného obvodu, kde již není nutná smyková výztuž:

$$u_{out} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d_{eff}} = 1,35 \cdot \frac{0,21413}{0,511 \cdot 0,241} = 2,347 \text{ m}$$

- Vzdálenost kontrolovaného obvodu, kde již není nutná smyková výztuž, od líce sloupu:

$$r_{out} = \frac{u_{out} - 2 \cdot b}{\pi} = \frac{2,347 - 2 \cdot 0,25}{\pi} = 0,588 \text{ m}$$

- Návrh třmínkové smykové výztuže v radiálním směru:

$$s_{r,max} = 0,75 \cdot d_{eff} = 0,75 \cdot 241 = 181 \text{ mm}$$

$$s_r = 175 \text{ mm}$$

- Celkový počet prutů na celý 1. kontrolovaný obvod:

$$n_s = 6$$



- Počet započitatelných obvodů smykové výztuže:

$$n_0 = \frac{1,5 \cdot d_{eff}}{s_r} = \frac{1,5 \cdot 0,241}{0,175} = 2,07$$

- Pevnost smykové výztuže:

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 \cdot d_{eff} = 250 + 0,25 \cdot 241 = 310,25 \text{ MPa} < f_{ywd} = \frac{500}{1,15} \\ = 434,78 \text{ MPa}$$

- Síla přenesená betonem na délku kontrolovaného obvodu:

$$V_{Rd,c} = v_{Rd,c} \cdot d_{eff} \cdot u_1 = 0,511 \cdot 0,241 \cdot 2,014 = 0,248 \text{ MN}$$

- Síla, kterou musí přenést smyková výztuž na délku obvodu:

$$V_{Rd,s} = \bar{V}_{Ed} - 0,75 \cdot V_{Rd,c} = 0,289 - 0,75 \cdot 0,248 = 0,103 \text{ MN}$$

- Minimální nutná plocha smykové výztuže prvního kontrolovaného obvodu:

$$A_{sw,k} = \frac{V_{Rd,s}}{\sin \alpha \cdot f_{ywd,ef}} = \frac{0,103}{\sin 90^\circ \cdot 310,25} = 332 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Minimální započitatelná plocha jednoho obvodu výztuže:

$$A_{sw,min} = \frac{A_{sw,k}}{n_0} = \frac{332 \cdot 10^{-6}}{2,07} = 160 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Návrh: 6Ø10

- Započitatelná plocha jednoho obvodu výztuže:

$$A_{sw} = n_s \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{10}^2}{4} = 6 \cdot \frac{\pi \cdot 10^2}{4} = 471 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Návrhová únosnost ve smyku při protlačení se smykovou výztuží:

$$v_{Rd,cs} = 0,75 \cdot v_{Rd,c} + 1,5 \cdot \frac{d_{eff}}{s_r} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \frac{1}{u_1 \cdot d_{eff}} \cdot \sin \alpha \\ = 0,75 \cdot 0,511 + 1,5 \cdot \frac{0,241}{0,175} \cdot 471 \cdot 10^{-6} \cdot 310,25 \cdot \frac{1}{2,014 \cdot 0,241} \\ \cdot \sin 90^\circ = 1,005 \text{ MPa} < k_{max} \cdot v_{Rd,c} = 1,96 \cdot 0,511 = 1,002 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,cs} = 1,005 \text{ MPa} < v_{Ed} = 0,528 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

## Konstrukční zásady

- Maximální vzdálenost jednotlivých řad výztuže:

$$s_{r,max} = 0,75 \cdot d_{eff} = 0,75 \cdot 241 = 181 \text{ mm}$$

- Maximální vzdálenost poslední řady výztuže od obvodu nevyžadujícím smykovou výztuž:

$$1,5 \cdot d_{eff} = 1,5 \cdot 241 = 362 \text{ mm}$$

- Maximální vzdálenost první řady výztuže od sloupu:

$$0,5 \cdot d_{eff} = 0,5 \cdot 241 = 120 \text{ mm}$$

- Minimální vzdálenost první řady výztuže od sloupu:

$$0,3 \cdot d_{eff} = 0,3 \cdot 241 = 72 \text{ mm}$$

- Maximální tangenciální vzdálenost trnů v řadě v prvním kontrolním obvodu:

$$s_{t,max} = 1,5 \cdot d_{eff} = 1,5 \cdot 241 = 362 \text{ mm}$$

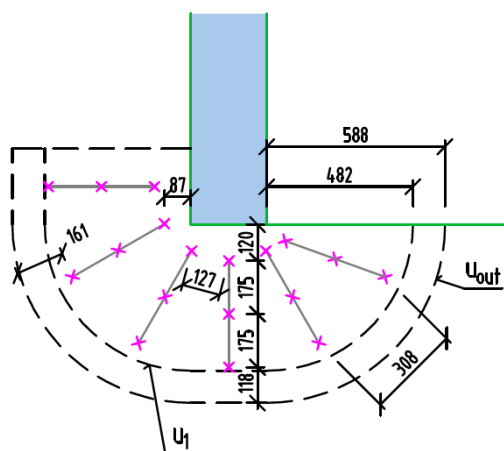
- Minimální stupeň vyztužení:

$$\rho_{sw,3} = 1,5 \cdot \frac{A_{sw}}{s_r \cdot s_{t,3}} = 1,5 \cdot \frac{471 \cdot 10^{-6}}{0,175 \cdot 0,308} = 0,0131$$

$$\rho_{sw,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$\rho_{sw,min} = 0,00088 < \rho_{sw,3} = 0,0131$$

**VYHOVUJE**



Obr. 92: Výztuž na protlačení na konci stěny

Výztuže proti protlačení je navržena od firmy PEIKKO 6xPSB – 10/235-3/550 (100/2\*175/100).

### Smyková únosnost (protlačení) – Roh ztužující stěny 1

- Návrhová smyková síla spočtená v programu Scia Engineer:

$$V_{Ed} = 200,61 \text{ kN}$$

- Účinná výška desky:

$$d_{eff} = \frac{d_{x,14} + d_{y,14}}{2} = \frac{234 + 248}{2} = 241 \text{ mm}$$

- Tloušťka stěny:

$$b = 0,25 \text{ m}$$

- Nultý kontrolovaný obvod:

$$u_0 = 2 \cdot b = 2 \cdot 0,25 = 0,5 \text{ m}$$

- Délka základního kontrolovaného obvodu:

$$u_1 = 2 \cdot b + \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 2 \cdot d_{eff} = 2 \cdot 0,25 + \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 2 \cdot 0,241 = 1,257 \text{ m}$$

Ověření maximální smykové únosnosti na obvodu sloupu

- Redukční součinitel

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

- Součinitel pro roh stěny:

$$\beta = 1,2$$

- Maximální návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_0 \cdot d_{eff}} = 1,2 \cdot \frac{200,61 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 0,241} = 1,992 \text{ MPa}$$

- Maximální únosnost betonu při protlačení na obvodu sloupu:

$$v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,528 \cdot 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,max} = 4,224 \text{ MPa} > v_{Ed} = 1,992 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

Smyková únosnost v základním kontrolovaném obvodu bez smykové výztuže

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{eff}}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{241}} = 1,911 < 2,0$$

- Stupeň vyztužení:

$$\rho_{lx} = \frac{A_{sx}}{b \cdot d_{x,14}} = \frac{513}{1000 \cdot 234} = 0,00219$$

$$\rho_{ly} = \frac{A_{sy}}{b \cdot d_{y,14}} = \frac{1539}{1000 \cdot 248} = 0,00621$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} = \sqrt{0,00219 \cdot 0,00621} = 0,00369 < 0,02$$

- Návrhová únosnost ve smyku při protlačení:

$$\begin{aligned} v_{Rd,c} &= C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} = \frac{0,18}{1,5} \cdot 1,911 \cdot (100 \cdot 0,00369 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} \\ &= 0,511 \text{ MPa} > v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,911^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} \\ &= 0,506 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_1 \cdot d_{eff}} = 1,2 \cdot \frac{200,61 \cdot 10^{-3}}{1,257 \cdot 0,241} = 0,795 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,c} = 0,511 \text{ MPa} < v_{Ed} = 0,795 \text{ MPa}$$

**NEVYHOVUJE**

→ Nutno navrhnout smykovou výztuž

Návrh smykové výztuže

- Síla na délku kontrolovaného obvodu včetně vlivu momentu:

$$\bar{V}_{Ed} = \beta \cdot V_{Ed} = 1,2 \cdot 0,20061 = 0,241 \text{ MN}$$

- Délka kontrolovaného obvodu, kde již není nutná smyková výztuž:

$$u_{out} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d_{eff}} = 1,2 \cdot \frac{0,20061}{0,511 \cdot 0,241} = 1,955 \text{ m}$$

- Vzdálenost kontrolovaného obvodu, kde již není nutná smyková výztuž, od líce sloupu:

$$r_{out} = \frac{u_{out} - 2 \cdot b}{0,5 \cdot \pi} = \frac{1,955 - 2 \cdot 0,25}{0,5 \cdot \pi} = 0,926 \text{ m}$$

- Návrh třmínkové smykové výztuže v radiálním směru:

$$s_{r,max} = 0,75 \cdot d_{eff} = 0,75 \cdot 241 = 181 \text{ mm}$$

$$s_r = 175 \text{ mm}$$

- Celkový počet prutů na celý 1. kontrolovaný obvod:

$$n_s = 6$$

- Počet započitatelných obvodů smykové výztuže:

$$n_0 = \frac{1,5 \cdot d_{eff}}{s_r} = \frac{1,5 \cdot 0,241}{0,175} = 2,07$$

- Pevnost smykové výztuže:

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 \cdot d_{eff} = 250 + 0,25 \cdot 241 = 310,25 \text{ MPa} < f_{ywd} = \frac{500}{1,15} \\ = 434,78 \text{ MPa}$$

- Síla přenesená betonem na délku kontrolovaného obvodu:

$$V_{Rd,c} = v_{Rd,c} \cdot d_{eff} \cdot u_1 = 0,511 \cdot 0,241 \cdot 1,257 = 0,155 \text{ MN}$$

- Síla, kterou musí přenést smyková výztuž na délku obvodu:

$$V_{Rd,s} = \bar{V}_{Ed} - 0,75 \cdot V_{Rd,c} = 0,241 - 0,75 \cdot 0,155 = 0,125 \text{ MN}$$

- Minimální nutná plocha smykové výztuže prvního kontrolovaného obvodu:

$$A_{sw,k} = \frac{V_{Rd,s}}{\sin \alpha \cdot f_{ywd,ef}} = \frac{0,125}{\sin 90^\circ \cdot 310,25} = 403 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Minimální započitatelná plocha jednoho obvodu výztuže:

$$A_{sw,min} = \frac{A_{sw,k}}{n_0} = \frac{403 \cdot 10^{-6}}{2,07} = 195 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Návrh: 6Ø10

- Započitatelná plocha jednoho obvodu výztuže:

$$A_{sw} = n_s \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{10}^2}{4} = 6 \cdot \frac{\pi \cdot 10^2}{4} = 471 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Návrhová únosnost ve smyku při protlačení se smykovou výztuží:

$$\begin{aligned}
 v_{Rd,cs} &= 0,75 \cdot v_{Rd,c} + 1,5 \cdot \frac{d_{eff}}{s_r} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \frac{1}{u_1 \cdot d_{eff}} \cdot \sin \alpha \\
 &= 0,75 \cdot 0,511 + 1,5 \cdot \frac{0,241}{0,175} \cdot 471 \cdot 10^{-6} \cdot 310,25 \cdot \frac{1}{1,257 \cdot 0,241} \\
 &\quad \cdot \sin 90^\circ = 1,380 \text{ MPa} < k_{max} \cdot v_{Rd,c} = 1,96 \cdot 0,511 = 1,002 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$v_{Rd,cs} = 1,002 \text{ MPa} < v_{Ed} = 0,795 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

Konstrukční zásady

- Maximální vzdálenost jednotlivých řad výztuže:

$$s_{r,max} = 0,75 \cdot d_{eff} = 0,75 \cdot 241 = 181 \text{ mm}$$

- Maximální vzdálenost poslední řady výztuže od obvodu nevyžadujícím smykovou výztuž:

$$1,5 \cdot d_{eff} = 1,5 \cdot 241 = 362 \text{ mm}$$

- Maximální vzdálenost první řady výztuže od sloupu:

$$0,5 \cdot d_{eff} = 0,5 \cdot 241 = 120 \text{ mm}$$

- Minimální vzdálenost první řady výztuže od sloupu:

$$0,3 \cdot d_{eff} = 0,3 \cdot 241 = 72 \text{ mm}$$

- Maximální tangenciální vzdálenost trnů v řadě v prvním kontrolním obvodu:

$$s_{t,max} = 1,5 \cdot d_{eff} = 1,5 \cdot 241 = 362 \text{ mm}$$

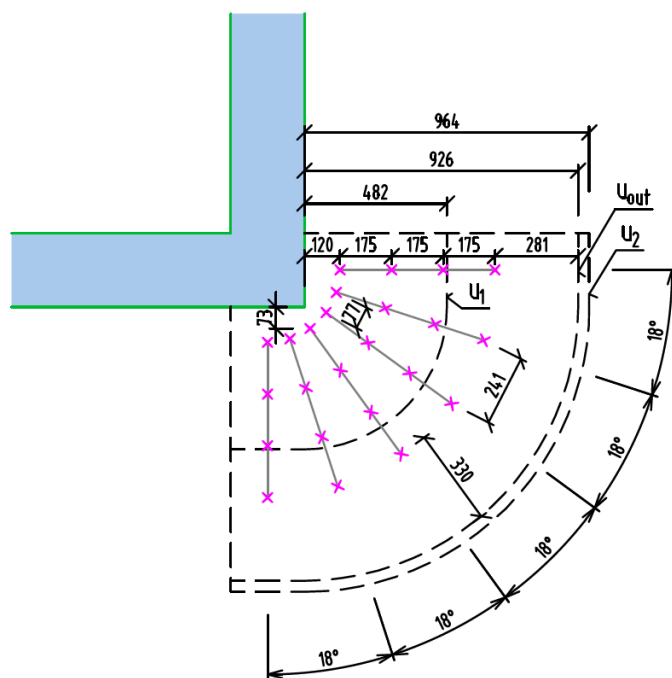
- Minimální stupeň vyztužení:

$$\rho_{sw,4} = 1,5 \cdot \frac{A_{sw}}{s_r \cdot s_{t,4}} = 1,5 \cdot \frac{471 \cdot 10^{-6}}{0,175 \cdot 0,241} = 0,0168$$

$$\rho_{sw,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$\rho_{sw,min} = 0,00088 < \rho_{sw,4} = 0,0168$$

**VYHOVUJE**



Obr. 93: Výztuž na protlačení u rohu stěny

Výztuže proti protlačení je navržena od firmy PEIKKO 6xPSB – 10/235-4/725 (100/3\*175/100).

### Smyková únosnost (protlačení) – Roh ztužující stěny 2

- Návrhová smyková síla spočtená v programu Scia Engineer:

$$V_{Ed} = 132,80 \text{ kN}$$

- Účinná výška desky:

$$d_{eff} = \frac{d_{x,14} + d_{y,14}}{2} = \frac{234 + 248}{2} = 241 \text{ mm}$$

- Tloušťka stěny:

$$b = 0,25 \text{ m}$$

- Nultý kontrolovaný obvod:

$$u_0 = b = 0,25 \text{ m}$$

- Délka základního kontrolovaného obvodu:

$$u_1 = b + \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 2 \cdot d_{eff} = 0,25 + \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 2 \cdot 0,241 = 1,007 \text{ m}$$

Ověření maximální smykové únosnosti na obvodu sloupu

- Redukční součinitel

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

- Součinitel pro roh stěny:

$$\beta = 1,2$$

- Maximální návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_0 \cdot d_{eff}} = 1,2 \cdot \frac{132,8 \cdot 10^{-3}}{0,25 \cdot 0,241} = 2,645 \text{ MPa}$$

- Maximální únosnost betonu při protlačení na obvodu sloupu:

$$v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,528 \cdot 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,max} = 4,224 \text{ MPa} > v_{Ed} = 2,645 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

Smyková únosnost v základním kontrolovaném obvodu bez smykové výztuže

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{eff}}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{241}} = 1,911 < 2,0$$

- Stupeň vyztužení:

$$\rho_{lx} = \frac{A_{sx}}{b \cdot d_{x,14}} = \frac{513}{1000 \cdot 234} = 0,00219$$

$$\rho_{ly} = \frac{A_{sy}}{b \cdot d_{y,14}} = \frac{2053}{1000 \cdot 248} = 0,00828$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} = \sqrt{0,00219 \cdot 0,00828} = 0,00426 < 0,02$$

- Návrhová únosnost ve smyku při protlačení:

$$\begin{aligned} v_{Rd,c} &= C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} = \frac{0,18}{1,5} \cdot 1,911 \cdot (100 \cdot 0,00426 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} \\ &= 0,536 \text{ MPa} > v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,911^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} \\ &= 0,506 \text{ MPa} \end{aligned}$$



- Návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_1 \cdot d_{eff}} = 1,2 \cdot \frac{132,80 \cdot 10^{-3}}{1,007 \cdot 0,241} = 0,657 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,c} = 0,536 \text{ MPa} < v_{Ed} = 0,657 \text{ MPa}$$

NEVYHOVUJE

→ Nutno navrhnout smykovou výztuž

Návrh smykové výztuže

- Síla na délku kontrolovaného obvodu včetně vlivu momentu:

$$\bar{V}_{Ed} = \beta \cdot V_{Ed} = 1,2 \cdot 0,1328 = 0,159 \text{ MN}$$

- Délka kontrolovaného obvodu, kde již není nutná smyková výztuž:

$$u_{out} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d_{eff}} = 1,2 \cdot \frac{0,1328}{0,536 \cdot 0,241} = 1,234 \text{ m}$$

- Vzdálenost kontrolovaného obvodu, kde již není nutná smyková výztuž, od líce sloupu:

$$r_{out} = \frac{u_{out} - 2 \cdot b}{0,5 \cdot \pi} = \frac{1,234 - 0,25}{0,5 \cdot \pi} = 0,626 \text{ m}$$

- Návrh třmínkové smykové výztuže v radiálním směru:

$$s_{r,max} = 0,75 \cdot d_{eff} = 0,75 \cdot 241 = 181 \text{ mm}$$

$$s_r = 175 \text{ mm}$$

- Celkový počet prutů na celý 1. kontrolovaný obvod:

$$n_s = 3$$

- Počet započítatelných obvodů smykové výztuže:

$$n_0 = \frac{1,5 \cdot d_{eff}}{s_r} = \frac{1,5 \cdot 0,241}{0,175} = 2,07$$

- Pevnost smykové výztuže:

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 \cdot d_{eff} = 250 + 0,25 \cdot 241 = 310,25 \text{ MPa} < f_{ywd} = \frac{500}{1,15} \\ = 434,78 \text{ MPa}$$

- Síla přenesená betonem na délku kontrolovaného obvodu:

$$V_{Rd,c} = v_{Rd,c} \cdot d_{eff} \cdot u_1 = 0,536 \cdot 0,241 \cdot 1,007 = 0,130 \text{ MN}$$

- Síla, kterou musí přenést smyková výztuž na délku obvodu:

$$V_{Rd,s} = \bar{V}_{Ed} - 0,75 \cdot V_{Rd,c} = 0,159 - 0,75 \cdot 0,130 = 0,062 \text{ MN}$$

- Minimální nutná plocha smykové výztuže prvního kontrolovaného obvodu:

$$A_{sw,k} = \frac{V_{Rd,s}}{\sin \alpha \cdot f_{ywd,ef}} = \frac{0,062}{\sin 90^\circ \cdot 310,25} = 200 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Minimální započitatelná plocha jednoho obvodu výztuže:

$$A_{sw,min} = \frac{A_{sw,k}}{n_0} = \frac{200 \cdot 10^{-6}}{2,07} = 97 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Návrh: 3Ø10

- Započitatelná plocha jednoho obvodu výztuže:

$$A_{sw} = n_s \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{10}^2}{4} = 3 \cdot \frac{\pi \cdot 10^2}{4} = 236 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Návrhová únosnost ve smyku při protlačení se smykovou výztuží:

$$\begin{aligned} v_{Rd,cs} &= 0,75 \cdot v_{Rd,c} + 1,5 \cdot \frac{d_{eff}}{s_r} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \frac{1}{u_1 \cdot d_{eff}} \cdot \sin \alpha \\ &= 0,75 \cdot 0,536 + 1,5 \cdot \frac{0,241}{0,175} \cdot 236 \cdot 10^{-6} \cdot 310,25 \cdot \frac{1}{1,007 \cdot 0,241} \\ &\quad \cdot \sin 90^\circ = 1,025 \text{ MPa} < k_{max} \cdot v_{Rd,c} = 1,96 \cdot 0,536 = 1,051 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$v_{Rd,cs} = 1,025 \text{ MPa} < v_{Ed} = 0,657 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

Konstrukční zásady

- Maximální vzdálenost jednotlivých řad výztuže:

$$s_{r,max} = 0,75 \cdot d_{eff} = 0,75 \cdot 241 = 181 \text{ mm}$$

- Maximální vzdálenost poslední řady výztuže od obvodu nevyžadujícím smykovou výztuž:

$$1,5 \cdot d_{eff} = 1,5 \cdot 241 = 362 \text{ mm}$$

- Maximální vzdálenost první řady výztuže od sloupu:

$$0,5 \cdot d_{eff} = 0,5 \cdot 241 = 120 \text{ mm}$$

- Minimální vzdálenost první řady výztuže od sloupu:

$$0,3 \cdot d_{eff} = 0,3 \cdot 241 = 72 \text{ mm}$$

- Maximální tangenciální vzdálenost trnů v řadě v prvním kontrolním obvodu:

$$s_{t,max} = 1,5 \cdot d_{eff} = 1,5 \cdot 241 = 362 \text{ mm}$$

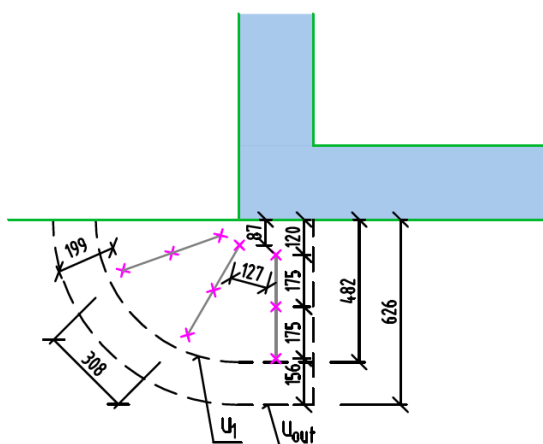
- Minimální stupeň vyztužení:

$$\rho_{sw,3} = 1,5 \cdot \frac{A_{sw}}{s_r \cdot s_{t,3}} = 1,5 \cdot \frac{236 \cdot 10^{-6}}{0,175 \cdot 0,308} = 0,0066$$

$$\rho_{sw,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$\rho_{sw,min} = 0,00088 < \rho_{sw,4} = 0,0066$$

**VYHOVUJE**



Obr. 94: Výztuž na protlačení u rohu stěny

Výztuže proti protlačení je navržena od firmy PEIKKO 3xPSB – 10/235-3/550 (100/2\*175/100).

### 5.2.2 Mezní stav použitelnosti

Mezní stav omezení napětí není potřeba vzhledem ke stupni vlivu prostředí XC posuzovat. Šířku trhlin není potřeba posuzovat vzhledem ke stupni vlivu prostředí XC1 a vzhledem k tomu, že stropní konstrukce je zakrytá podhledem, tudíž nám vznikající trhliny nebudou kazit estetický dojem.

## Omezení průhybu

Průhyb není třeba podrobně počítat, pokud vyhoví následující posudek.

### Směr $x$

- Součinitel zohledňující nosný systém:  $K = 1,2$
- Požadovaný stupeň vyztužení tahovou výztuží ve středu rozpětí:

$$\rho_x = \frac{a_{s,x}}{b \cdot d_{x,14}} = \frac{513 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 0,234} = 2,197 \cdot 10^{-3}$$

- Referenční stupeň vyztužení:

$$\rho_0 = 10^{-3} \sqrt{f_{ck}} = 10^{-3} \sqrt{30} = 5,48 \cdot 10^{-3}$$

$\rho_x < \rho_0 \rightarrow$  Použijí podmínku:

$$\frac{l_x}{d_x} = K \cdot \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_x} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \left( \frac{\rho_0}{\rho_x} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

$$\frac{6}{0,234} = 1,2 \cdot \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{30} \cdot \frac{5,48 \cdot 10^{-3}}{2,197 \cdot 10^{-3}} + 3,2 \cdot \sqrt{30} \left( \frac{5,48 \cdot 10^{-3}}{2,197 \cdot 10^{-3}} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

$$25,64 < 76,211$$

$\rightarrow$  Není potřeba ověřit průhyb výpočtem

### Směr $y$

- Součinitel zohledňující nosný systém:  $K = 1,2$
- Požadovaný stupeň vyztužení tahovou výztuží ve středu rozpětí:

$$\rho_y = \frac{a_{s,y}}{b \cdot d_{y,14}} = \frac{775 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 0,248} = 3,125 \cdot 10^{-3}$$

- Referenční stupeň vyztužení:

$$\rho_0 = 10^{-3} \sqrt{f_{ck}} = 10^{-3} \sqrt{30} = 5,48 \cdot 10^{-3}$$

$\rho_y < \rho_0 \rightarrow$  Použijí podmínku:

$$\frac{l_y}{d_y} = K \cdot \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_y} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \left( \frac{\rho_0}{\rho_y} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

$$\frac{9}{0,248} = 1,2 \cdot \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{30} \cdot \frac{5,48 \cdot 10^{-3}}{3,125 \cdot 10^{-3}} + 3,2 \cdot \sqrt{30} \left( \frac{5,48 \cdot 10^{-3}}{3,125 \cdot 10^{-3}} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

$$36,29 < 44,25$$

→ Není potřeba ověřit průhyb výpočtem

### 5.3 Deska – lokálně podepřená (na úrovni +2,950)

#### 5.3.1 Mezní stav únosnosti

##### Krytí

Deska se nachází uvnitř budovy a je chráněna proti povětrnostním vlivům, proto je navržena z betonu C30/37 se stupněm vlivu prostředí XC1. Návrhová životnost konstrukce třídy S4 je 50 let.

- Průměr výztuže:  $\varnothing = 10 \text{ mm}$
- Minimální krycí vrstva z hlediska soudržnosti:  $c_{min,b} = 10 \text{ mm}$
- Minimální krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí:  $c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$
- Přídavná bezpečnostní složka:  $\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$
- Redukce minimální krycí vrstvy při použití nerezové oceli:

$$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$$

- Redukce minimální krycí vrstvy při použití přídavné ochrany:

$$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

- Minimální krycí vrstva:

$$\begin{aligned} c_{min} &= \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\} \\ &= \max\{10; 15; 10 \text{ mm}\} = 15 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Toleranční zvětšení:  $\Delta c_{dev} = 5 - 10 \text{ mm}$

- Nominální krycí vrstva:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 15 + 5 = 20 \text{ mm}$$

### Ohyb - základní rastr sítě

Pro desku je navržen základní rastr sítě s přihlédnutím ke konstrukčním zásadám pro vyztužování železobetonové deskové konstrukce. Místa na desce, která překračují moment únosnosti takto vyztužené desky jsou dále doplněná výztuží vykrývající zbylý moment. Samozřejmostí je zatažení výztuže dále, mimo kladný, popřípadě záporný moment, o kotevní délku. Základní rastr je navržen z vázané výztuže  $\emptyset 10/200$  mm v obou směrech. Výztuž pro doplnění je použita  $\emptyset 6$ ,  $\emptyset 10$  mm. Jsou vybrány průměry ob jednu velikost z důvodu eliminace chyb na staveništi, kde by hrozilo zaměnění prutů s podobným průměrem. Větší návrhové momenty se nacházejí ve směru  $x$ , tudíž výztuž blíže povrchu je uvažována ve směru  $x$ .

### Ohyb - základní rastr sítě ve směru osy $x$

- Účinná výška průřezu ve směru  $x$ :

$$d_{x,10} = h - c_{nom} - \frac{1}{2} \cdot \emptyset_{10} = 190 - 20 - \frac{1}{2} \cdot 10 = 165 \text{ mm}$$

- Skutečná plocha výztuže:

$$A_{s,r} = \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \emptyset_{10}^2}{4} = \frac{1000}{200} \cdot \frac{\pi \cdot 10^2}{4} = 393 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Síla ve výztuži:

$$F_s = A_{s,r} \cdot f_{yd} = 393 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 170,87 \text{ kN}$$

- Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{170,87 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0107 \text{ m}$$

- Moment únosnosti průřezu:

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d_{x,10} - 0,4 \cdot x) = 170,87 \cdot (0,165 - 0,4 \cdot 0,0107) = 27,46 \text{ kNm/m}$$

$$\mathbf{m_{Rd} = 27,46 \text{ kNm/m}}$$

## Konstrukční zásady

- Omezení množství výztuže:

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d_{x,10} \\ 0,0013 \cdot b \cdot d_{x,10} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 1 \cdot 0,165 \\ 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,165 \end{array} \right\}$$

$$= 249 \cdot 10^{-6} m^2$$

$$A_{s,min,CSN} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,0018 \cdot \frac{f_{yk}}{500} \cdot b \cdot d_{x,10} \\ 0,0014 \cdot b \cdot d_{x,10} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,0018 \cdot \frac{500}{500} \cdot 1 \cdot 0,165 \\ 0,0014 \cdot 1 \cdot 0,165 \end{array} \right\}$$

$$= 297 \cdot 10^{-6} m^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,190 = 7600 \cdot 10^{-6} m^2$$

$$A_{s,min} = 249 \cdot 10^{-6} m^2 < A_{s,r} = 393 \cdot 10^{-6} m^2 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$A_{s,min,CSN} = 297 \cdot 10^{-6} m^2 < A_{s,r} = 393 \cdot 10^{-6} m^2 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$A_{s,max} = 7600 \cdot 10^{-6} m^2 > A_{s,r} = 786 \cdot 10^{-6} m^2 \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Maximální osová vzdálenost výztuže:

$$s_{os,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2 \cdot h \\ 300 mm \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2 \cdot 190 \\ 300 \end{array} \right\} = 300 mm$$

$$s_{os,max} = 300 mm = s_{os,skut} = 200 mm \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_{sv,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot \phi_{max} \\ d_g + 5 mm \\ 20 mm \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot 10 \\ 22 + 5 \\ 20 \end{array} \right\} = 27 mm$$

$$s_{sv,skut} = s_{os,skut} - \phi_{10} = 200 - 10 = 190 mm$$

$$s_{sv,min} = 27 mm < s_{sv,skut} = 190 mm \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Omezení výšky tlačené oblasti:

$$\xi = \frac{x}{d_{x,10}} = \frac{0,0107}{0,165} = 0,065$$

$$\xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

$$\xi_{bal} = 0,617 > \xi = 0,065$$

**VYHOVUJE**

### **Ohyb - základní rastr sítě ve směru osy y**

- Účinná výška průřezu ve směru y:

$$d_{y,10} = h - c_{nom} - \frac{3}{2} \cdot \phi_{10} = 190 - 20 - \frac{3}{2} \cdot 10 = 155 \text{ mm}$$

- Skutečná plocha výztuže:

$$A_{s,r} = \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{10}^2}{4} = \frac{1000}{200} \cdot \frac{\pi \cdot 10^2}{4} = 393 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Síla ve výztuži:

$$F_s = A_{s,r} \cdot f_{yd} = 393 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 170,87 \text{ kN}$$

- Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{170,87 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0107 \text{ m}$$

- Moment únosnosti průřezu:

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d_{y,10} - 0,4 \cdot x) = 170,87 \cdot (0,155 - 0,4 \cdot 0,0107) = 25,75 \text{ kNm/m}$$

$$\mathbf{m_{Rd} = 25,75 \text{ kNm/m}}$$

### **Konstrukční zásady**

- Omezení množství výztuže:

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d_{y,10} \\ 0,0013 \cdot b \cdot d_{y,10} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 1 \cdot 0,155 \\ 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,155 \end{array} \right\}$$

$$= 234 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min,CSN} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,0018 \cdot \frac{f_{yk}}{500} \cdot b \cdot d_{y,10} \\ 0,0014 \cdot b \cdot d_{y,10} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,0018 \cdot \frac{500}{500} \cdot 1 \cdot 0,155 \\ 0,0014 \cdot 1 \cdot 0,155 \end{array} \right\}$$

$$= 279 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$



$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,190 = 7600 \cdot 10^{-6} m^2$$

$$A_{s,min} = 234 \cdot 10^{-6} m^2 < A_{s,r} = 393 \cdot 10^{-6} m^2 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$A_{s,min,CSN} = 279 \cdot 10^{-6} m^2 < A_{s,r} = 393 \cdot 10^{-6} m^2 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$A_{s,max} = 7600 \cdot 10^{-6} m^2 > A_{s,r} = 786 \cdot 10^{-6} m^2 \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Maximální osová vzdálenost výztuže:

$$s_{os,max} = \min \left\{ \frac{2 \cdot h}{300 \text{ mm}} \right\} = \min \left\{ \frac{2 \cdot 190}{300} \right\} = 300 \text{ mm}$$

$$s_{os,max} = 300 \text{ mm} = s_{os,skut} = 200 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_{sv,min} = \max \left\{ \frac{1,2 \cdot \phi_{max}}{20 \text{ mm}}, \frac{d_g + 5 \text{ mm}}{20} \right\} = \left\{ \frac{1,2 \cdot 10}{20}, \frac{22 + 5}{20} \right\} = 27 \text{ mm}$$

$$s_{sv,skut} = s_{os,skut} - \phi_{10} = 200 - 10 = 190 \text{ mm}$$

$$s_{sv,min} = 27 \text{ mm} < s_{sv,skut} = 190 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Omezení výšky tlačené oblasti:

$$\xi = \frac{x}{d_{y,10}} = \frac{0,0107}{0,155} = 0,069$$

$$\xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

$$\xi_{bal} = 0,617 > \xi = 0,069 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Podmínka minimálního množství výztuže vyhoví pro všechny další posudky, jelikož vyhovuje už pro základní navržený rastr výztuže. Také podmínka maximální osově vzdálenosti již nebude dále posuzována.

### Ohyb - doplňující výztuž

Místa, kde ohybový moment překračuje únosnost průřezu vyztuženého pruty  $\phi 10/200 \text{ mm}$  je použita doplňující výztuž, která vykrývá zbylý moment. Výztuž pro doplnění je použita  $\phi 6$

a  $\varnothing 10$  mm. Mezery v základním rastru jsou doplněny o jeden prut  $\varnothing 6$  a o jeden nebo dva pruty  $\varnothing 10$ .

### Ohyb - základní rastr doplněný o 1 prut $\varnothing 6$ ve směru osy $x$

$\varnothing 10/200$  mm +  $\varnothing 6/200$  mm – Do každé mezery v základním rastru se vloží 1 prut  $\varnothing 6$ .

- Plocha výztuže  $\varnothing 6$ :

$$A_{s,6} = \frac{1}{s_6} \cdot \frac{\pi \cdot \varnothing_6^2}{4} = \frac{1000}{200} \cdot \frac{\pi \cdot 6^2}{4} = 141 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Plocha výztuže  $\varnothing 10$ :

$$A_{s,10} = A_{s,r} = 393 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Skutečná celková plocha výztuže:

$$A_s = A_{s,6} + A_{s,10} = 141 \cdot 10^{-6} + 393 \cdot 10^{-6} = 534 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Posudek

- Síla ve výztuži:

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 534 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 232,17 \text{ kN}$$

- Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{232,17 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0145 \text{ m}$$

- Účinná výška průřezu ve směru  $x$  pro prut  $\varnothing 6$ :

$$d_{x,6} = h - c_{nom} - \varnothing_{10} + \frac{1}{2} \cdot \varnothing_6 = 190 - 20 - 10 + \frac{1}{2} \cdot 6 = 163 \text{ mm}$$

- Průměrná účinná výška průřezu:

$$d_{prům} = \frac{d_{x,6} \cdot A_{s,6} + d_{x,10} \cdot A_{s,10}}{A_s} = \frac{0,163 \cdot 141 \cdot 10^{-6} + 0,165 \cdot 393 \cdot 10^{-6}}{534 \cdot 10^{-6}} = 164,5 \text{ mm}$$

- Moment únosnosti průřezu:

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d_{prům} - 0,4 \cdot x) = 232,17 \cdot (0,1645 - 0,4 \cdot 0,0145) = 36,85 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Rd} = 36,85 \text{ kNm/m}$$

## Konstrukční zásady

- Omezení množství výztuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,190 = 7600 \cdot 10^{-6} m^2$$

$$A_{s,max} = 7600 \cdot 10^{-6} m^2 > A_s = 1068 \cdot 10^{-6} m^2 \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_{sv,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot \phi_{max} \\ d_g + 5 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot 10 \\ 22 + 5 \\ 20 \end{array} \right\} = 27 \text{ mm}$$

$$s_{sv,skut} = s_{os,skut} - \frac{1}{2} \cdot \phi_{10} - \frac{1}{2} \cdot \phi_6 = 100 - \frac{1}{2} \cdot 10 - \frac{1}{2} \cdot 6 = 92 \text{ mm}$$

$$s_{sv,min} = 27 \text{ mm} < s_{sv,skut} = 92 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Omezení výšky tlačené oblasti:

$$\xi = \frac{x}{d_{prům}} = \frac{0,0145}{0,1645} = 0,088$$

$$\xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

$$\xi_{bal} = 0,617 > \xi = 0,088 \quad \text{VYHOVUJE}$$

## Ohyb - základní rastr doplněný o 1 prut Ø10 ve směru osy x

Ø10/100 mm – Do každé mezery v základním rastru se vloží 1 prut Ø10.

- Skutečná plocha výztuže:

$$A_s = \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{10}^2}{4} = \frac{1000}{100} \cdot \frac{\pi \cdot 10^2}{4} = 786 \cdot 10^{-6} m^2$$

## Posudek

- Síla ve výztuži:

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 786 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 341,74 \text{ kN}$$

- Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{341,74 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0214 \text{ m}$$

- Moment únosnosti průřezu:

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d_{x,10} - 0,4 \cdot x) = 341,74 \cdot (0,165 - 0,4 \cdot 0,0214) = 53,46 \text{ kNm/m}$$

$$\mathbf{m_{Rd} = 53,46 \text{ kNm/m}}$$

#### Konstrukční zásady

- Omezení množství výztuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,190 = 7600 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\mathbf{A_{s,max} = 7600 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_s = 1572 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

- Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_{sv,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot \phi_{max} \\ d_g + 5 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot 10 \\ 22 + 5 \\ 20 \end{array} \right\} = 27 \text{ mm}$$

$$s_{sv,skut} = s_{os,skut} - \phi_{10} = 100 - 10 = 90 \text{ mm}$$

$$\mathbf{s_{sv,min} = 27 \text{ mm} < s_{sv,skut} = 90 \text{ mm}} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

- Omezení výšky tlačené oblasti:

$$\xi = \frac{x}{d_{x,10}} = \frac{0,0214}{0,165} = 0,130$$

$$\xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

$$\mathbf{\xi_{bal} = 0,617 > \xi = 0,130} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

#### Ohyb - základní rastr doplněný o 2 pruty Ø10 ve směru osy x

Ø10/67 mm – Do každé mezery v základním rastru se vloží 2 pruty Ø10.

- Skutečná plocha výztuže:

$$A_s = \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{10}^2}{4} = \frac{1000}{67} \cdot \frac{\pi \cdot 10^2}{4} = 1172 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

#### Posudek

- Síla ve výztuži:

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 1172 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 509,56 \text{ kN}$$

- Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{509,56 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0318 \text{ m}$$

- Moment únosnosti průřezu:

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d_{x,10} - 0,4 \cdot x) = 509,56 \cdot (0,165 - 0,4 \cdot 0,0318) = 77,60 \text{ kNm/m}$$

$$\mathbf{m_{Rd} = 77,60 \text{ kNm/m}}$$

### Konstrukční zásady

- Omezení množství výztuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,190 = 7600 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\mathbf{A_{s,max} = 7600 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_s = 2344 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2}$$

**VYHOVUJE**

- Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_{sv,min} = \max \left\{ \begin{matrix} 1,2 \cdot \phi_{max} \\ d_g + 5 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} 1,2 \cdot 10 \\ 22 + 5 \\ 20 \end{matrix} \right\} = 27 \text{ mm}$$

$$s_{sv,skut} = s_{os,skut} - \phi_{10} = 67 - 10 = 57 \text{ mm}$$

$$\mathbf{s_{sv,min} = 27 \text{ mm} < s_{sv,skut} = 57 \text{ mm}}$$

**VYHOVUJE**

- Omezení výšky tlačené oblasti:

$$\xi = \frac{x}{d_{x,10}} = \frac{0,0318}{0,165} = 0,193$$

$$\xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

$$\mathbf{\xi_{bal} = 0,617 > \xi = 0,193}$$

**VYHOVUJE**

### Ohyb - základní rastr doplněný o 1 prut Ø6 ve směru osy y

**Ø10/200 mm + Ø6/200 mm** – Do každé mezery v základním rastru se vloží 1 prut Ø6.

- Plocha výztuže Ø6:

$$A_{s,6} = \frac{1}{s_6} \cdot \frac{\pi \cdot \phi_6^2}{4} = \frac{1000}{200} \cdot \frac{\pi \cdot 6^2}{4} = 141 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Plocha výztuže  $\emptyset 10$ :

$$A_{s,10} = A_{s,r} = 393 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Skutečná celková plocha výztuže:

$$A_s = A_{s,6} + A_{s,10} = 141 \cdot 10^{-6} + 393 \cdot 10^{-6} = 534 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

#### Posudek

- Síla ve výztuži:

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 534 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 232,17 \text{ kN}$$

- Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{232,17 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0145 \text{ m}$$

- Účinná výška průřezu ve směru  $y$  pro prut  $\emptyset 6$ :

$$d_{y,6} = h - c_{nom} - \emptyset_{10} - \frac{1}{2} \cdot \emptyset_6 = 190 - 20 - 10 - \frac{1}{2} \cdot 6 = 157 \text{ mm}$$

- Průměrná účinná výška průřezu:

$$d_{prům} = \frac{d_{y,6} \cdot A_{s,6} + d_{y,10} \cdot A_{s,10}}{A_s} = \frac{0,157 \cdot 141 \cdot 10^{-6} + 0,155 \cdot 393 \cdot 10^{-6}}{534 \cdot 10^{-6}} = 155,5 \text{ mm}$$

- Moment únosnosti průřezu:

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d_{prům} - 0,4 \cdot x) = 232,17 \cdot (0,1555 - 0,4 \cdot 0,0145) = 34,76 \text{ kNm/m}$$

$$\mathbf{m_{Rd} = 34,76 \text{ kNm/m}}$$

#### Konstrukční zásady

- Omezení množství výztuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,190 = 7600 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\mathbf{A_{s,max} = 7600 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_s = 1068 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2}$$

**VYHOVUJE**

- Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_{sv,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot \emptyset_{max} \\ d_g + 5 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot 10 \\ 22 + 5 \\ 20 \end{array} \right\} = 27 \text{ mm}$$

$$s_{sv,skut} = s_{os,skut} - \frac{1}{2} \cdot \phi_{10} - \frac{1}{2} \cdot \phi_6 = 100 - \frac{1}{2} \cdot 10 - \frac{1}{2} \cdot 6 = 92 \text{ mm}$$

$$s_{sv,min} = 27 \text{ mm} < s_{sv,skut} = 92 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

- Omezení výšky tlačené oblasti:

$$\xi = \frac{x}{d_{prum}} = \frac{0,0145}{0,1555} = 0,093$$

$$\xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

$$\xi_{bal} = 0,617 > \xi = 0,093$$

**VYHOVUJE**

**Ohyb - základní rastr doplněný o 1 prut Ø10 ve směru osy y**

**Ø10/100 mm** – Do každé mezery v základním rastru se vloží 1 prut Ø10.

- Skutečná plocha výztuže:

$$A_s = \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{10}^2}{4} = \frac{1000}{100} \cdot \frac{\pi \cdot 10^2}{4} = 786 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Posudek

- Síla ve výztuži:

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 786 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 341,74 \text{ kN}$$

- Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{341,74 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0214 \text{ m}$$

- Moment únosnosti průřezu:

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d_{y,10} - 0,4 \cdot x) = 341,74 \cdot (0,155 - 0,4 \cdot 0,0214) = 50,04 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Rd} = 50,04 \text{ kNm/m}$$

Konstrukční zásady

- Omezení množství výztuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,190 = 7600 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 7600 \cdot 10^{-6} m^2 > A_s = 1572 \cdot 10^{-6} m^2$$

**VYHOVUJE**

- Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_{sv,min} = \max \left\{ \begin{matrix} 1,2 \cdot \phi_{max} \\ d_g + 5 mm \\ 20 mm \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} 1,2 \cdot 10 \\ 22 + 5 \\ 20 \end{matrix} \right\} = 27 mm$$

$$s_{sv,skut} = s_{os,skut} - \phi_{10} = 100 - 10 = 90 mm$$

$$s_{sv,min} = 27 mm < s_{sv,skut} = 90 mm$$

**VYHOVUJE**

- Omezení výšky tlačené oblasti:

$$\xi = \frac{x}{d_{x,10}} = \frac{0,0214}{0,155} = 0,138$$

$$\xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

$$\xi_{bal} = 0,617 > \xi = 0,138$$

**VYHOVUJE**

### Ohyb – shrnutí únosnosti průřezů

	Směr x [kNm/m]	Směr y [kNm/m]
Ø10/200 mm	27,46	25,75
Ø10/200 mm + Ø6/200 mm	36,85	34,76
Ø10/100 mm	53,46	50,04
Ø10/67 mm	77,60	-

Tab.15: Shrnutí únosnosti průřezů v ohybu

### Smyková únosnost (protlačení) – Krajní sloup

- Celkové rovnoměrné zatížení desky:

$$f_d = g_d + s_{d,1} + w_d^{l+} = 6,88 + 2,33 + 0,44 = 9,65 kN/m^2$$

Jako zatížení sněhem byla spočtena průměrná hodnota zatížení od návěje na příslušné ploše desky.



- Svislá reakce v podpoře spočtena ručně:

$$R_{Ed,r} = f_d \cdot 0,5 \cdot L_x \cdot L_y = 9,65 \cdot 0,5 \cdot 6 \cdot 5 = 144,75 \text{ kN}$$

- Svislá reakce v podpoře spočtená v programu Scia Engineer:

$$R_{Ed,s} = 142,32 \text{ kN}$$

Pro další výpočet bude použita hodnota spočtena pomocí programu Scia Engineer.

- Účinná výška desky:

$$d_{eff} = \frac{d_{x,10} + d_{y,10}}{2} = \frac{165 + 155}{2} = 160 \text{ mm}$$

- Délka strany sloupu:

$$c = 0,4 \text{ m}$$

- Nultý kontrolovaný obvod:

$$u_0 = 3 \cdot c = 3 \cdot 0,4 = 1,2 \text{ m}$$

- Délka základního kontrolovaného obvodu:

$$u_1 = 3 \cdot c + \pi \cdot 2 \cdot d_{eff} = 3 \cdot 0,4 + \pi \cdot 2 \cdot 0,160 = 2,21 \text{ m}$$

Redukce svislé síly

- Plocha základního kontrolovaného obvodu:

$$\begin{aligned} A_1 &= c \cdot c + 3 \cdot c \cdot 2 \cdot d_{eff} + \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot (2 \cdot d_{eff})^2 \\ &= 0,4 \cdot 0,4 + 3 \cdot 0,4 \cdot 2 \cdot 0,160 + \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot (2 \cdot 0,160)^2 = 0,705 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Redukovaná svislá síla:

$$V_{Ed} = R_{Ed} - A_1 \cdot f_d = 142,32 - 0,705 \cdot 9,65 = 135,52 \text{ kN}$$

Ověření maximální smykové únosnosti na obvodu sloupu

- Redukční součinitel

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

- Součinitel pro krajní sloup:

$$\beta = 1,40$$

- Maximální návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{R_{Ed}}{u_0 \cdot d_{eff}} = 1,40 \cdot \frac{142,32 \cdot 10^{-3}}{1,2 \cdot 0,160} = 1,038 \text{ MPa}$$

- Maximální únosnost betonu při protlačení na obvodu sloupu:

$$v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,528 \cdot 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,max} = 4,224 \text{ MPa} > v_{Ed} = 1,038 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

Smyková únosnost v základním kontrolovaném obvodě bez smykové výztuže

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{eff}}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{160}} = 2,118 < 2,0$$

- Stupeň vyztužení:

$$\rho_{lx} = \frac{A_{sx}}{b \cdot d_{x,10}} = \frac{393}{1000 \cdot 165} = 0,00238$$

$$\rho_{ly} = \frac{A_{sy}}{b \cdot d_{y,10}} = \frac{393}{1000 \cdot 155} = 0,00254$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} = \sqrt{0,00238 \cdot 0,00254} = 0,00246 < 0,02$$

- Návrhová únosnost ve smyku při protlačení:

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} = \frac{0,18}{1,5} \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,00246 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} = 0,467 \text{ MPa}$$

$$> v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 2,0^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 0,542 \text{ MPa}$$

- Návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_1 \cdot d_{eff}} = 1,40 \cdot \frac{135,52 \cdot 10^{-3}}{2,21 \cdot 0,160} = 0,537 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,c} = 0,542 \text{ MPa} > v_{Ed} = 0,537 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

→ Není potřeba navrhnout smykovou výztuž

### Smyková únosnost (protlačení) – Rohový sloup

- Celkové rovnoměrné zatížení desky:

$$f_d = g_d + s_{d,1} + w_d^{I+} = 6,88 + 2,33 + 0,44 = 9,65 \text{ kN/m}^2$$

- Svislá reakce v podpoře spočtena ručně:

$$R_{Ed,r} = f_d \cdot 0,5 \cdot L_x \cdot 0,5 \cdot L_y = 9,65 \cdot 0,5 \cdot 6 \cdot 0,5 \cdot 5 = 72,38 \text{ kN}$$

- Svislá reakce v podpoře spočtená v programu Scia Engineer:

$$R_{Ed,s} = 65,08 \text{ kN}$$

Pro další výpočet bude použita hodnota spočtena pomocí programu Scia Engineer.

- Účinná výška desky:

$$d_{eff} = \frac{d_{x,14} + d_{y,14}}{2} = \frac{165 + 155}{2} = 160 \text{ mm}$$

- Délka strany sloupu:  $c = 0,4 \text{ m}$
- Nultý kontrolovaný obvod:  $u_0 = 2 \cdot c = 2 \cdot 0,4 = 0,8 \text{ m}$
- Délka základního kontrolovaného obvodu:

$$u_1 = 2 \cdot c + 0,5 \cdot \pi \cdot 2 \cdot d_{eff} = 2 \cdot 0,4 + 0,5 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 0,160 = 1,303 \text{ m}$$

Redukce svislé síly

- Plocha základního kontrolovaného obvodu:

$$\begin{aligned} A_1 &= c \cdot c + 2 \cdot c \cdot 2 \cdot d_{eff} + 0,25 \cdot \pi \cdot (2 \cdot d_{eff})^2 \\ &= 0,4 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,4 \cdot 2 \cdot 0,160 + 0,25 \cdot \pi \cdot (2 \cdot 0,160)^2 = 0,50 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Redukovaná svislá síla:

$$V_{Ed} = R_{Ed} - A_1 \cdot f_d = 65,08 - 0,50 \cdot 9,65 = 60,26 \text{ kN}$$

Ověření maximální smykové únosnosti na obvodu sloupu

- Redukční součinitel

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

- Součinitel pro rohový sloup:

$$\beta = 1,50$$

- Maximální návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{R_{Ed}}{u_0 \cdot d_{eff}} = 1,50 \cdot \frac{65,08 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 0,160} = 0,763 \text{ MPa}$$

- Maximální únosnost betonu při protlačení na obvodu sloupu:

$$v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,528 \cdot 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,max} = 4,224 \text{ MPa} > v_{Ed} = 0,763 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

Smyková únosnost v základním kontrolovaném obvodu bez smykové výztuže

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{eff}}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{160}} = 2,118 < 2,0$$

- Stupeň vyztužení:

$$\rho_{lx} = \frac{A_{sx}}{b \cdot d_{x,10}} = \frac{393}{1000 \cdot 165} = 0,00238$$

$$\rho_{ly} = \frac{A_{sy}}{b \cdot d_{y,10}} = \frac{393}{1000 \cdot 155} = 0,00254$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} = \sqrt{0,00238 \cdot 0,00254} = 0,00246 < 0,02$$

- Návrhová únosnost ve smyku při protlačení:

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} = \frac{0,18}{1,5} \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,00246 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} = 0,467 \text{ MPa}$$

$$> v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 2,0^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 0,542 \text{ MPa}$$

- Návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_1 \cdot d_{eff}} = 1,50 \cdot \frac{60,26 \cdot 10^{-3}}{1,303 \cdot 0,160} = 0,434 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,c} = 0,542 \text{ MPa} > v_{Ed} = 0,434 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

→ Není potřeba navrhnout smykovou výztuž

### 5.3.2 Mezní stav použitelnosti

Mezní stav omezení napětí není potřeba vzhledem ke stupni vlivu prostředí XC posuzovat. Šířku trhlin není potřeba posuzovat vzhledem ke stupni vlivu prostředí XC1 a vzhledem k tomu, že stropní konstrukce je zakrytá podhledem, tudíž nám vznikající trhliny nebudou kazit estetický dojem.

### Omezení průhybu

Průhyb není třeba podrobně počítat, pokud vyhoví následující posudek.

### Směr $x$

- Součinitel zohledňující nosný systém:  $K = 1,2$
- Požadovaný stupeň vyztužení tahovou výztuží ve středu rozpětí:

$$\rho_x = \frac{a_{s,x}}{b \cdot d_{x,10}} = \frac{393 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 0,165} = 2,382 \cdot 10^{-3}$$

- Referenční stupeň vyztužení:

$$\rho_0 = 10^{-3} \sqrt{f_{ck}} = 10^{-3} \sqrt{30} = 5,48 \cdot 10^{-3}$$

$\rho_x < \rho_0 \rightarrow$  Použiji podmínku:

$$\frac{l_x}{d_x} = K \cdot \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_x} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \left( \frac{\rho_0}{\rho_x} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

$$\frac{6}{0,165} = 1,2 \cdot \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{30} \cdot \frac{5,48 \cdot 10^{-3}}{2,382 \cdot 10^{-3}} + 3,2 \cdot \sqrt{30} \left( \frac{5,48 \cdot 10^{-3}}{2,382 \cdot 10^{-3}} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

$$36,36 < 67,08$$

$\rightarrow$  Není potřeba ověřit průhyb výpočtem

### Směr $y$

- Součinitel zohledňující nosný systém:  $K = 1,2$
- Požadovaný stupeň vyztužení tahovou výztuží ve středu rozpětí:

$$\rho_y = \frac{a_{s,y}}{b \cdot d_{y,10}} = \frac{393 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 0,155} = 2,535 \cdot 10^{-3}$$

- Referenční stupeň vyztužení:

$$\rho_0 = 10^{-3} \sqrt{f_{ck}} = 10^{-3} \sqrt{30} = 5,48 \cdot 10^{-3}$$

$\rho_y < \rho_0 \rightarrow$  Použiji podmínku:

$$\frac{l_y}{d_y} = K \cdot \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_y} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \left( \frac{\rho_0}{\rho_y} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

$$\frac{5}{0,155} = 1,2 \cdot \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{30} \cdot \frac{5,48 \cdot 10^{-3}}{2,535 \cdot 10^{-3}} + 3,2 \cdot \sqrt{30} \left( \frac{5,48 \cdot 10^{-3}}{2,535 \cdot 10^{-3}} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

$$32,26 < 60,85$$

→ Není potřeba ověřit průhyb výpočtem

## 5.4 Sloupy S1 a S2 v řadách B2 – B6, C2 – C6, D2 – D6

Sloupy S1 a S2 jsou stejné, s jediným rozdílem, že sloup S2 nese navíc i desku na úrovni +2,950 m. Sloup S2 je tedy vícekrát přerušen pracovní spárou při betonáži, a obsahuje více třmínků, jelikož třmínky jsou v okolí desek zahuštěny.

### 5.4.1 Mezní stav únosnosti

Sloupy jsou ve všech třech podlažích počítány se stejným průřezem a stejnou výztuží, jelikož v 1. podlaží převládá normálová síla ve sloupu, zatímco ve 3. podlaží převládá ohybový moment. Sloupy v prvním podlaží jsou navrženy z betonu C30/37 se stupněm vlivu prostředí XC2, jelikož jsou sloupy zakotveny v základové patce pod úrovní terénu. Ve druhém a třetím podlaží je uvažovaný stupeň vlivu prostředí XC1. Účinná délka sloupu je uvažována na stranu bezpečnou ( $l = l_0$ ), i když vodorovné síly působící na stavbu přebírá především jádro, tak i přesto může docházet k mírnému vodorovnému posunu stropních desek vůči sobě.

#### Vnitřní síly vypočtené lineární pružnou analýzou

$$\begin{aligned} N_{\max(bot)} &= -2699,95 \text{ kN} & M_{přisl,n,z(bot)} &= 3,70 \text{ kNm} \\ & & M_{přisl,n,z(top)} &= -1,94 \text{ kNm} \\ & & M_{přisl,n,y(bot)} &= 3,38 \text{ kNm} \\ & & M_{přisl,n,y(top)} &= -6,28 \text{ kNm} \\ M_{\max,z(top)} &= 154,45 \text{ kNm} & N_{přisl,m(top)} &= -266,70 \text{ kN} \\ & & M_{přisl,m,z(bot)} &= -130,27 \text{ kNm} \\ & & M_{přisl,m,y(top)} &= 5,62 \text{ kNm} \end{aligned}$$

#### Krytí

Krycí vrstva je počítána pro beton se stupněm vlivu prostředí XC2. Sloupy ve druhém a třetím podlaží z betonu se stupněm vlivu prostředí XC1 jsou navrženy se stejným krytím jako sloupy prvního podlaží, z důvodu zjednodušení a eliminace chyb na stavbě. Návrhová životnost konstrukce třídy S4 je 50 let.

Krytí hlavní nosné výztuže:

- Průměr výztuže:  $\emptyset = 25 \text{ mm}$
- Minimální krycí vrstva z hlediska soudržnosti:  $c_{min,b} = 25 \text{ mm}$
- Minimální krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí:  $c_{min,dur} = 25 \text{ mm}$
- Přídavná bezpečnostní složka:  $\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$
- Redukce minimální krycí vrstvy při použití nerezové oceli:  
 $\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$
- Redukce minimální krycí vrstvy při použití přídavné ochrany:  
 $\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$
- Minimální krycí vrstva:  
$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$
$$= \max\{25; 25; 10 \text{ mm}\} = 25 \text{ mm}$$
- Toleranční zvětšení:  $\Delta c_{dev} = 5 - 10 \text{ mm}$
- Nominální krycí vrstva:  
$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 25 + 5 = 30 \text{ mm}$$

Krytí třmínků:

- Průměr výztuže:  $\emptyset_{sw} = 10 \text{ mm}$
- Minimální krycí vrstva z hlediska soudržnosti:  $c_{min,b} = 10 \text{ mm}$
- Minimální krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí:  $c_{min,dur} = 25 \text{ mm}$
- Přídavná bezpečnostní složka:  $\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$
- Redukce minimální krycí vrstvy při použití nerezové oceli:  
 $\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$
- Redukce minimální krycí vrstvy při použití přídavné ochrany:  
 $\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$
- Minimální krycí vrstva:  
$$c_{min,sw} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$
$$= \max\{10; 25; 10 \text{ mm}\} = 25 \text{ mm}$$
- Toleranční zvětšení:  $\Delta c_{dev} = 5 - 10 \text{ mm}$

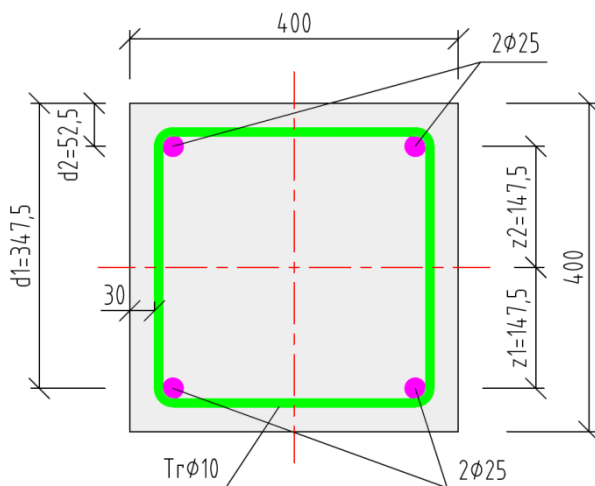


- Nominální krycí vrstva:

$$c_{nom,sw} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 25 + 5 = 30 \text{ mm}$$

Navržené krytí třmíneků je 30 mm, z čehož vyplývá, že krytí podélné nosné výztuže je 40 mm.

### Vstupní parametry



Obr. 95: Průřez sloupu

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,78}{200} = 2,174 \text{ ‰}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,174} = 0,617$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,174} = 2,639$$

- Vzdálenosti výztuže od okraje sloupů:

$$d_1 = h - c_{nom} - \phi_{sw} - \frac{\phi}{2} = 400 - 30 - 10 - \frac{25}{2} = 347,5 \text{ mm}$$

$$d_2 = c_{nom} + \phi_{sw} + \frac{\phi}{2} = 30 + 10 + \frac{25}{2} = 52,5 \text{ mm}$$

- Ramena vnitřních sil:

$$z_1 = z_2 = \frac{h}{2} - d_2 = \frac{400}{2} - 52,5 = 147,5 \text{ mm}$$

- Plocha betonu:

$$A_c = b \cdot h = 400 \cdot 400 = 0,16 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$

- Plocha výztuže:

$$A_{s,1} = A_{s,2} = n \cdot \frac{\pi \cdot \varnothing^2}{4} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 25^2}{4} = 982 \text{ mm}^2$$

### Štíhlostní kritérium pro osamělé prvky

Výpočet je proveden pro případ s maximální normálovou silou a příslušnými momenty v koncových uzlech sloupu jak ve směru y, tak i ve směru z. Dále je výpočet proveden pro případ s maximálním momentem, s příslušnou normálovou silou a příslušným momentem v opačném uzlu sloupu.

1. Pro případ maximální normálové síly a příslušných momentů

- Poměrná normálová síla:

$$n = \frac{N_{\max(\text{bot})}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{2699,95 \cdot 10^3}{0,16 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,844$$

- Mechanický stupeň vyztužení:

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1964 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,16 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,267$$

- Poměr momentů:

Pro výpočet jsou vybrány příslušné momenty jak ve směru y, tak i ve směru z, v koncových uzlech sloupu, k maximální normálové síle.

$$|M_{01}| \leq |M_{02}|$$

$$r_m = \frac{M_{01,z}}{M_{02,z}} = \frac{-1,94}{3,70} = -0,52 ; r_m = \frac{M_{01,y}}{M_{02,y}} = \frac{3,38}{-6,28} = -0,54$$

- Součinitele:

$$A = 0,7$$

$$B = \sqrt{(1 + 2 \cdot \omega)} = \sqrt{(1 + 2 \cdot 0,267)} = 1,24$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 - (-0,52) = 2,22$$

- Limitní štíhlost:

$$\lambda_{lim,n} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,24 \cdot 2,22}{\sqrt{0,844}} = 41,95$$

- Účinná délka pro oboustranně vetknutý sloup výšky 4765 mm:

$$l_0 = l = 4,765 \text{ m}$$

- Moment setrvačnosti průřezu:

$$I = \frac{1}{12} \cdot b^4 = \frac{1}{12} \cdot 0,4^4 = 2,133 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

- Poloměr setrvačnosti průřezu:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{2,133 \cdot 10^{-3}}{0,16}} = 0,1155$$

- Štíhlostní poměr:

$$\lambda_n = \frac{L_0}{i} = \frac{4,765}{0,1155} = 41,26$$

$$\lambda_n = 41,26 < \lambda_{lim,n} = 41,95$$

**VYHOVUJE**

2. Pro případ maximálního momentu a příslušné normálové síly a momentu

- Poměrná normálová síla:

$$n = \frac{N_{přisl,m(top)}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{266,7 \cdot 10^3}{0,16 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,083$$

- Mechanický stupeň vyztužení:

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1964 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,16 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,267$$

- Poměr momentů:

Pro výpočet je vybrán příslušný moment v opačném uzlu sloupu.

$$|M_{01}| \leq |M_{02}|$$

$$r_m = \frac{M_{01,z}}{M_{02,z}} = \frac{-130,27}{154,45} = -0,84$$

- Součinitele:

$$A = 0,7$$

$$B = \sqrt{(1 + 2 \cdot \omega)} = \sqrt{(1 + 2 \cdot 0,267)} = 1,24$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 - (-0,84) = 2,54$$

- Limitní štíhlost:

$$\lambda_{lim,m} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,24 \cdot 2,54}{\sqrt{0,083}} = 153,05$$

$$\lambda_{lim,m} = 75 - \text{Maximální hodnota dle normy [5]}$$

- Účinná délka pro oboustranně vetknutý sloup výšky 3675 mm:

$$l_0 = l = 3,675 \text{ m}$$

- Moment setrvačnosti průřezu:

$$I = \frac{1}{12} \cdot b^4 = \frac{1}{12} \cdot 0,4^4 = 2,133 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

- Poloměr setrvačnosti průřezu:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{2,133 \cdot 10^{-3}}{0,16}} = 0,1155$$

- Štíhlostní poměr:

$$\lambda_m = \frac{L_0}{i} = \frac{3,675}{0,1155} = 31,82$$

$$\lambda_m = 31,82 < \lambda_{lim,m} = 75$$

**VYHOVUJE**

## Geometrické imperfekce

Geometrické imperfekce jsou počítány zvlášť pro sloup v prvním podlaží, kterému přísluší maximální normálová síla, a zvlášť pro sloup třetího podlaží, kterému přísluší maximální ohybový moment.

- Účinná délka pro oboustranně vetknutý sloup výšky 4765 mm:

$$l_{0,a} = l = 4,765 \text{ m}$$

- Účinná délka pro oboustranně vetknutý sloup výšky 3675 mm:

$$l_{0,b} = l = 3,675 \text{ m}$$

- Výstřednost pro sloup výšky 4765 mm:

$$e_{i,a} = l_{0,a}/400 = 4765/400 = 11,9 \text{ mm}$$

- Výstřednost pro sloup výšky 3675 mm:

$$e_{i,b} = l_{0,b}/400 = 3675/400 = 9,2 \text{ mm}$$

- Návrhový moment podle teorie I. řádu s vlivem imperfekcí:

$$\begin{aligned} M_{Ed,přísl,n,z} &= M_{přísl,n,z(bot)} + N_{\max(bot)} \cdot e_{i,a} = 3,70 + 2699,95 \cdot 0,0119 \\ &= 35,86 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Ed,přísl,n,y} &= M_{přísl,n,y(bot)} + N_{\max(bot)} \cdot e_{i,a} = 3,38 + 2699,95 \cdot 0,0119 \\ &= 35,51 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Ed,\max,z} &= M_{\max,z(top)} + N_{přísl,m(top)} \cdot e_{i,b} = 154,45 + 266,70 \cdot 0,0092 \\ &= 156,90 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Ed,přísl,m,y} &= M_{přísl,m,y(top)} + N_{přísl,m(top)} \cdot e_{i,b} = 5,62 + 266,70 \cdot 0,0092 \\ &= 8,07 \text{ kNm} \end{aligned}$$

### Návrhové vnitřní síly

$$N_{Ed,\max} = -2699,95 \text{ kN} \quad M_{Ed,přísl,n,z} = 35,86 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,přísl,n,y} = 35,51 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,\max,z} = 156,90 \text{ kNm} \quad N_{Ed,přísl,m} = -266,70 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,přísl,m,y} = 8,07 \text{ kNm}$$

### Body interakčního diagramu

Bod 0 – pouze tlak

$$x = h = 0,4 \text{ m}$$

$$\sigma_s = \varepsilon_{c2} \cdot E_s = 2 \cdot 200 = 400 \text{ MPa} < f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} N_{Rd,0} &= -F_{s1} - F_c - F_{s2} = -(2 \cdot A_s \cdot \sigma_s + A_c \cdot f_{cd}) \\ &= -(2 \cdot 982 \cdot 10^{-6} \cdot 400 \cdot 10^3 + 0,16 \cdot 20 \cdot 10^3) = -3985,6 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$M_{Rd,0} = F_{s2} \cdot z_2 - F_{s1} \cdot z_1 = 0 \text{ kNm}$$

Bod 1 – Neutrální osa prohází těžištěm výztuže  $A_{sI}$

$$x = d_1 = 0,3475 \text{ m}$$

$$d_1 = 347,5 \text{ mm} > \xi_{bal2} \cdot d_2 = 2,639 \cdot 52,5 = 138,55 \text{ mm} \rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd} \\ = 434,78 \text{ MPa}$$

$$N_{Rd,1} = -F_c - F_{s2} = -(0,8 \cdot d_1 \cdot b \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot \sigma_{s2}) \\ = -(0,8 \cdot 0,3475 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 10^3 + 982 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3) \\ = -2651,0 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,1} = 0,8 \cdot d_1 \cdot b \cdot f_{cd} \cdot \left(\frac{h}{2} - 0,4 \cdot d_1\right) + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2 \\ = 0,8 \cdot 0,3475 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{0,4}{2} - 0,4 \cdot 0,3475\right) + 982 \cdot 10^{-6} \\ \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,1475 = 198,6 \text{ kNm}$$

Bod 2 – Rozhraní mezi tlakovým porušením betonu a tahovým porušením oceli

$$\xi_{bal1} \cdot d_1 = 0,617 \cdot 347,5 = 214 \text{ mm} > \xi_{bal2} \cdot d_2 = 2,639 \cdot 52,5 = 138,55 \text{ mm} \\ \rightarrow \sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$x = \xi_{bal1} \cdot d_1 = 0,617 \cdot 0,3475 = 0,214 \text{ m}$$

$$N_{Rd,2} = -F_c - F_{s2} + F_{s1} = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} = 0,8 \cdot 0,214 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 10^3 \\ = -1369,6 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,2} = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} \cdot \left(\frac{h}{2} - 0,4 \cdot x\right) + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 \cdot 2 \\ = 0,8 \cdot 0,214 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{0,4}{2} - 0,4 \cdot 0,214\right) + 982 \cdot 10^{-6} \\ \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,1475 \cdot 2 = 282,6 \text{ kNm}$$

Bod 3 – Prostý ohyb

$$x = ?; F_c = F_s$$

$$N_{Rd,3} = -F_c + F_s = 0 \text{ kN}$$

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{982 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 10^3} = 0,0667 \text{ m}$$

$$M_{Rd,3} = F_s \cdot (d_1 - 0,4 \cdot x) = 982 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot (0,3475 - 0,4 \cdot 0,0667) \\ = 137,0 \text{ kNm}$$

Bod 4 - Neutrální osa prochází těžištěm výztuže  $A_{s2}$ , průřez je tažený

$$N_{Rd,4} = F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 982 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 427,0 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,4} = F_{s1} \cdot z_1 = 427,0 \cdot 0,1475 = 63,0 \text{ kNm}$$

Bod 5 – Průřez je tažený

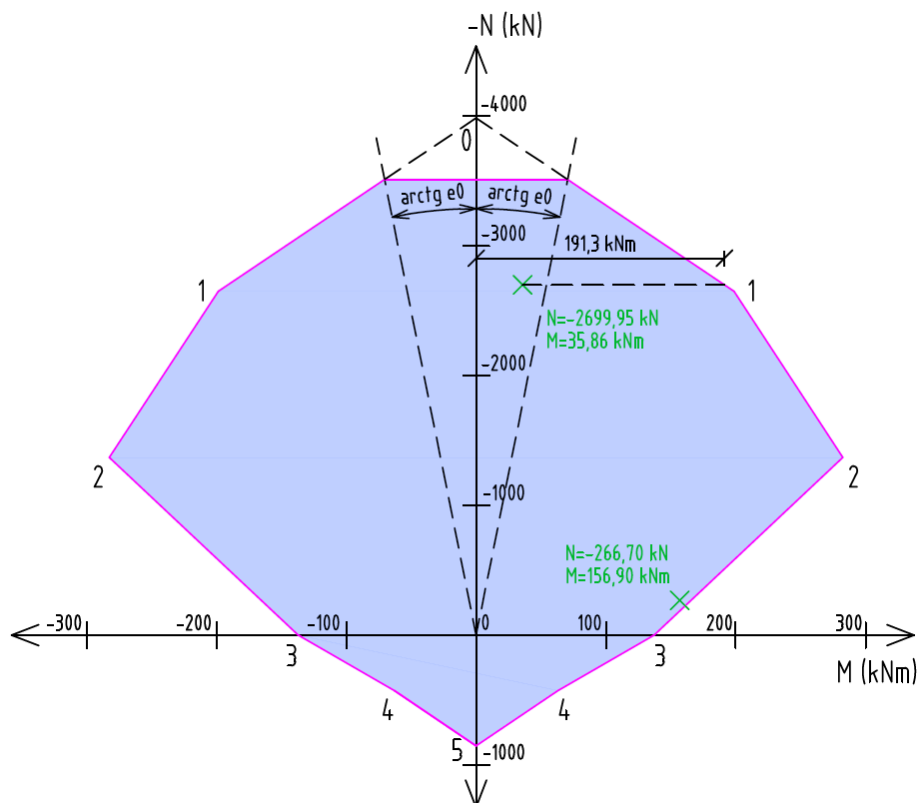
$$N_{Rd,5} = F_{s1} + F_{s2} = 427 \cdot 2 = 854 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,5} = F_{s1} \cdot z_1 - F_{s2} \cdot z_2 = 0 \text{ kNm}$$

### Interakční diagram

- Výstřednost tlakové normálové síly:

$$e_0 = \max \left\{ \frac{h}{30} \right\} = \max \left\{ \frac{400}{30} \right\} = 20 \text{ mm}$$



Obr. 96: Interakční diagram

## Dvouosý ohyb

Podmínky poměrů štíhlosti nemusí být ověřeny, jelikož se nejedná o štíhlý sloup.

Posouzení poměrné výstřednosti

- Poloměr setrvačnosti průřezu vzhledem k ose  $y, z$ :

$$i_{y,z} = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{2,133 \cdot 10^{-3}}{0,16}} = 0,1155$$

- Náhradní rozměry průřezů:

$$b_{eq} = h_{eq} = i_{y,z} \cdot \sqrt{12} = 0,1155 \cdot \sqrt{12} = 0,4 \text{ m}$$

1. Pro  $N_{Ed,max}$ :

- Výstřednost ve směru osy  $y$ :

$$e_y = \frac{M_{Ed,přísl,n,y}}{N_{Ed,max}} = \frac{35,51}{2699,95} = 0,01315$$

- Výstřednost ve směru osy  $z$ :

$$e_z = \frac{M_{Ed,přísl,n,z}}{N_{Ed,max}} = \frac{35,86}{2699,95} = 0,01328$$

- Podmínka:

$$\frac{e_y/h_{eq}}{e_z/b_{eq}} = \frac{0,01315/0,4}{0,01328/0,4} = 0,99 \leq 0,2$$

→ Podmínka není splněna, tudíž je potřeba sloup posoudit na dvouosý ohyb.

- Návrhová únosnost osově namáhaného průřezu:

$$\begin{aligned} N_{Rd} &= A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd} = 0,16 \cdot 20 \cdot 10^3 + 1964 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \\ &= 4053,91 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Součinitel  $a$ :

$$\frac{N_{Ed,max}}{N_{Rd}} = \frac{2699,95}{4053,91} = 0,67 \rightarrow a = 1,48$$

- Podmínka spolehlivosti:

$$\left( \frac{M_{Ed,přísl,n,y}}{M_{Rd,y}} \right)^a + \left( \frac{M_{Ed,přísl,n,z}}{M_{Rd,z}} \right)^a \leq 1,0$$



$$\left(\frac{35,51}{191,3}\right)^{1,48} + \left(\frac{35,86}{191,3}\right)^{1,48} \leq 1,0$$

$$0,17 < 1,0$$

**VYHOVUJE**

2. Pro  $M_{Ed,max,z}$ :

- Výstřednost ve směru osy y:

$$e_y = \frac{M_{Ed,přisl,m,y}}{N_{Ed,přisl,m}} = \frac{8,07}{266,70} = 0,03026$$

- Výstřednost ve směru osy z:

$$e_z = \frac{M_{Ed,max,z}}{N_{Ed,přisl,m}} = \frac{156,90}{266,70} = 0,58830$$

- Podmínka:

$$\frac{e_y/h_{eq}}{e_z/b_{eq}} = \frac{0,03026/0,4}{0,58830/0,4} = 0,05 \leq 0,2$$

→ Podmínka je splněna, tudíž není potřeba sloup posoudit na dvouosý ohyb.

## Konstrukční zásady

Podélná (nosná) výztuž

- Minimální průměr výztuže:

$$\phi_{min} = 12 \text{ mm} < \phi = 25 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

- Omezení množství výztuže:

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,1 \cdot \frac{N_{Ed,max}}{f_{yd}} \\ 0,002 \cdot A_c \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,1 \cdot \frac{2699,95 \cdot 10^3}{434,78 \cdot 10^6} \\ 0,002 \cdot 0,16 \end{array} \right\} = 621 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,16 = 6400 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 621 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < A_{s,1} = A_{s,2} = 982 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

**VYHOVUJE**

$$A_{s,max} = 6400 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_s = 1964 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

**VYHOVUJE**

- Maximální osová vzdálenost výztuže:

$$s_{os,skut} = b - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \phi_{sw} - \phi = 400 - 2 \cdot 30 - 2 \cdot 10 - 25 = 295 \text{ mm}$$

$$s_{os,max} = 400 \text{ mm} > s_{os,skut} = 295 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

- Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_{sv,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot \phi_{max} \\ d_g + 5 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot 25 \\ 22 + 5 \\ 20 \end{array} \right\} = 30 \text{ mm}$$

$$s_{sv,skut} = b - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \phi_{sw} - 2 \cdot \phi = 400 - 2 \cdot 30 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 25 \\ = 270 \text{ mm}$$

$$s_{sv,min} = 30 \text{ mm} < s_{sv,skut} = 270 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

Příčná výztuž (třmínky)

- Maximální podélná vzdálenost třmínků:

$$s_{sw,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 15\phi \\ \min(b, h) \\ 300 \text{ mm} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 15 \cdot 25 \\ 400 \\ 300 \end{array} \right\} = 300 \text{ mm}$$

- Minimální průměr výztuže:

$$\phi_{sw,min} = 6 \text{ mm} < \phi_{sw} = 10 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

## Kotevní délka

Kotevní délka je počítána pro pruty v dobrých podmínkách soudržnosti.

Pro výztuž  $\phi = 25 \text{ mm}$

- Návrhová hodnota pevnosti betonu v tahu:

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk;0.05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

- Návrhová hodnota mezního napětí v soudržnosti:

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

- Základní požadovaná kotevní délka:

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{25}{4} \cdot \frac{434,78}{3} = 905,8 \approx 910 \text{ mm}$$

- Návrhová kotevní délka:

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 910 = 910 \text{ mm}$$

- Minimální kotevní délka:

$$l_{b,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,6 \cdot l_{b,rqd} \\ 10 \cdot \varnothing \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,6 \cdot 910 \\ 10 \cdot 25 \\ 100 \end{array} \right\} = 546 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 910 \text{ mm} > l_{b,min} = 546 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

### Délka přesahu

Pro výztuž  $\varnothing = 25 \text{ mm}$

- Součinitel pro případ, kdy je procento prutů stykovaných přesahem v poměru k celkové průřezové ploše výztuže větší než 50%:

$$\alpha_6 = 1,5$$

- Návrhová délka přesahu:

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 905,8 \approx 1360 \text{ mm}$$

- Minimální délka přesahu:

$$l_{0,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \\ 15 \cdot \varnothing \\ 200 \text{ mm} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot 1,5 \cdot 910 \\ 15 \cdot 25 \\ 200 \end{array} \right\} = 410 \text{ mm}$$

$$l_0 = 1360 \text{ mm} > l_{0,min} = 410 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

### 5.4.2 Mezní stav použitelnosti

Sloupy v prvním podlaží jsou navrženy z betonu se stupněm vlivu prostředí XC2, jelikož jsou sloupy zakotveny v základové patce pod úrovní terénu. Maximální šířka trhliny těchto sloupů je  $w_{max} = 0,3 \text{ mm}$ . Sloupy ve druhém a třetím podlaží jsou navrženy z betonu se stupněm vlivu prostředí XC1. Maximální šířka trhliny těchto sloupů je  $w_{max} = 0,4 \text{ mm}$  z důvodu estetického vzhledu. Mezní stav omezení napětí není potřeba vzhledem ke stupni vlivu prostředí XC posuzovat.

## Omezení trhlin

Vnitřní síly:

Vnitřní síly byly vypočteny lineární pružnou analýzou pomocí programu Scia Engineer 16 pro kvazistálou kombinaci zatížení.

- Maximální moment na sloupech v prvním podlaží:

$$M_{max,kvaz,1} = 51,27 \text{ kNm}$$

- Maximální moment na sloupech ve druhém a třetím podlaží:

$$M_{max,kvaz,2,3} = 102,12 \text{ kNm}$$

Ideální průřez plně působící

- Poměr tuhostí výztuže a betonu:

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{33} = 6,061$$

- Plocha ideálního průřezu:

$$\begin{aligned} A_i &= A_c + (\alpha_e - 1) \cdot (A_{s1} + A_{s2}) = 0,16 + (6,061 - 1) \cdot (2 \cdot 982 \cdot 10^{-6}) \\ &= 0,17 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Vzdálenost těžiště ideálního průřezu od horního okraje:

$$\begin{aligned} a_{gi} &= \frac{[A_c \cdot a_c + (\alpha_e - 1) \cdot (A_{s1} \cdot d_1 + A_{s2} \cdot d_2)]}{A_i} \\ &= \frac{[0,16 \cdot 0,2 + (6,061 - 1) \cdot (982 \cdot 10^{-6} \cdot 0,3475 + 982 \cdot 10^{-6} \cdot 0,0525)]}{0,17} = 0,2 \text{ m} \end{aligned}$$

- Moment setrvačnosti ideálního průřezu k jeho těžišti:

$$\begin{aligned} I_i &= I_c + A_c \cdot (a_{gi} - a_c)^2 + (\alpha_e - 1) \cdot [A_{s1} \cdot (d_1 - a_{gi})^2 + A_{s2} \cdot (a_{gi} - d_2)^2] \\ &= \frac{1}{12} \cdot 0,4^4 + 0,16 \cdot (0,2 - 0,2)^2 + (6,061 - 1) \\ &\quad \cdot [982 \cdot 10^{-6} \cdot (0,3475 - 0,2)^2 + 982 \cdot 10^{-6} \cdot (0,2 - 0,0525)^2] \\ &= 0,0023496 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

- Ohybový moment při vzniku trhlin:

$$M_{cr,lt} = f_{ctm} \cdot \frac{I_i}{h - a_{gi}} = 2,9 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,0023496}{0,4 - 0,2} = 34,07 \text{ kNm}$$

Průřez s trhlinami (vyloučený tah v betonu)

- Vzdálenost neutrální osy od tlačného okraje:

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{\alpha_e}{b} \cdot (A_{s1} + A_{s2}) \cdot \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b}{\alpha_e} \cdot \frac{A_{s1} \cdot d_1 + A_{s2} \cdot d_2}{(A_{s1} + A_{s2})^2}} \right] \\
 &= \frac{6,061}{0,4} \cdot 2 \cdot 982 \cdot 10^{-6} \\
 &\quad \cdot \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 0,4}{6,061} \cdot \frac{982 \cdot 10^{-6} \cdot 0,3475 + 982 \cdot 10^{-6} \cdot 0,0525}{(2 \cdot 982 \cdot 10^{-6})^2}} \right] \\
 &= 0,0833 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Moment setrvačnosti:

$$\begin{aligned}
 I_{ir} &= \frac{1}{3} \cdot b \cdot x^3 + \alpha_e \cdot [A_{s1} \cdot (d_1 - x)^2 + A_{s2} \cdot (x - d_2)^2] \\
 &= \frac{1}{3} \cdot 0,4 \cdot 0,0833^3 + 6,061 \\
 &\quad \cdot [982 \cdot 10^{-6} \cdot (0,3475 - 0,0833)^2 + 982 \cdot 10^{-6} \\
 &\quad \cdot (0,0833 - 0,0525)^2] = 0,000498 \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

- Krycí vrstva podélné výztuže:

$$c = 0,04 \text{ m}$$

- Průměr prutu podélné výztuže:

$$\varphi = 0,025 \text{ m}$$

- Ostatní vstupní údaje a součinitele:

$$h_{c,eff} = \min \left\{ \begin{array}{c} 2,5 \cdot (h - d_1) \\ (h - x)/3 \\ h/2 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{c} 2,5 \cdot (0,4 - 0,3475) \\ (0,4 - 0,0833)/3 \\ 0,4/2 \end{array} \right\} = 0,106 \text{ m}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{b \cdot h_{c,eff}} = \frac{2 \cdot 982 \cdot 10^{-6}}{0,4 \cdot 0,106} = 0,0463$$

$$k_1 = 0,8; k_2 = 0,5; k_3 = 3,4; k_4 = 0,425; k_t = 0,4$$

- Napětí ve výztuži na sloupu v prvním podlaží:

$$\sigma_{s,1} = \alpha_e \cdot \frac{M_{max,kvaz,1}}{I_{ir}} \cdot (d_1 - x) = 6,061 \cdot \frac{51,27 \cdot 10^{-3}}{0,000498} \cdot (0,3475 - 0,0833) \\ = 164,86 \text{ MPa}$$

- Šířka trhliny na sloupu v prvním podlaží:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$w_k = \left( k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\varphi}{\rho_{p,eff}} \right) \cdot \frac{1}{E_s} \cdot \left[ \sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}) \right] \\ = \left( 3,4 \cdot 0,04 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{0,025}{0,0463} \right) \cdot \frac{1}{200 \cdot 10^3} \\ \cdot \left[ 164,86 - 0,4 \cdot \frac{2,9}{0,0463} \cdot (1 + 6,061 \cdot 0,0463) \right] = 0,000151 \text{ m}$$

$$w_{k,min} = \left( k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\varphi}{\rho_{p,eff}} \right) \cdot \frac{1}{E_s} \cdot 0,6 \cdot \sigma_s \\ = \left( 3,4 \cdot 0,04 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{0,025}{0,0463} \right) \cdot \frac{1}{200 \cdot 10^3} \cdot 0,6 \cdot 164,86 \\ = 0,000113 \text{ m}$$

$$w_k = 0,151 \text{ mm} < w_{lim} = 0,3 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

- Napětí ve výztuži na sloupu ve druhém a třetím podlaží:

$$\sigma_{s,2,3} = \alpha_e \cdot \frac{M_{max,kvaz,2,3}}{I_{ir}} \cdot (d_1 - x) = 6,061 \cdot \frac{102,12 \cdot 10^{-3}}{0,000498} \cdot (0,3475 - 0,0833) \\ = 328,37 \text{ MPa}$$

- Šířka trhliny na sloupu ve druhém a třetím podlaží:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$w_k = \left( k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\varphi}{\rho_{p,eff}} \right) \cdot \frac{1}{E_s} \cdot \left[ \sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}) \right] \\ = \left( 3,4 \cdot 0,04 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{0,025}{0,0463} \right) \cdot \frac{1}{200 \cdot 10^3} \\ \cdot \left[ 328,37 - 0,4 \cdot \frac{2,9}{0,0463} \cdot (1 + 6,061 \cdot 0,0463) \right] = 0,000337 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
w_{k,min} &= \left( k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\varphi}{\rho_{p,eff}} \right) \cdot \frac{1}{E_s} \cdot 0,6 \cdot \sigma_s \\
&= \left( 3,4 \cdot 0,04 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{0,025}{0,0463} \right) \cdot \frac{1}{200 \cdot 10^3} \cdot 0,6 \cdot 328,37 \\
&= 0,000224 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$w_k = 0,337 \text{ mm} < w_{lim} = 0,4 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

## 5.5 Sloupy S3 v řadách C'1 - C'2 a D1

### 5.5.1 Mezní stav únosnosti

Sloupy v prvním podlaží jsou navrženy z betonu C30/37 se stupněm vlivu prostředí XC2, jelikož jsou sloupy zakotveny v základové patce pod úrovní terénu. Ve druhém podlaží je uvažovaný stupeň vlivu prostředí XC1. Účinná délka sloupu je uvažována na stranu bezpečnou ( $l = l_0$ ), i když vodorovné síly působící na stavbu přebírá především jádro, tak i přesto může docházet k mírnému vodorovnému posunu stropních desek vůči sobě.

#### Vnitřní síly vypočtené lineární pružnou analýzou

$$\begin{aligned}
N_{\max(bot)} &= -832,22 \text{ kN} & M_{přísl,n,y(bot)} &= 12,48 \text{ kNm} \\
& & M_{přísl,n,y(top)} &= -21,18 \text{ kNm} \\
& & M_{přísl,n,z(bot)} &= -0,10 \text{ kNm} \\
& & M_{přísl,n,z(top)} &= 11,06 \text{ kNm} \\
M_{\max,y(top)} &= -87,29 \text{ kNm} & N_{přísl,m(top)} &= -309,61 \text{ kN} \\
& & M_{přísl,m,y(bot)} &= 60,58 \text{ kNm} \\
& & M_{přísl,m,z(top)} &= 27,45 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

### Krytí

Krycí vrstva je počítána pro beton se stupněm vlivu prostředí XC2. Sloupy ve druhém podlaží z betonu se stupněm vlivu prostředí XC1 jsou navrženy se stejným krytím jako sloupy

prvního podlaží, z důvodu zjednodušení a eliminace chyb na stavbě. Návrhová životnost konstrukce třídy S4 je 50 let.

Krytí hlavní nosné výztuže:

- Průměr výztuže:  $\emptyset = 20 \text{ mm}$
- Minimální krycí vrstva z hlediska soudržnosti:  $c_{min,b} = 20 \text{ mm}$
- Minimální krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí:  $c_{min,dur} = 25 \text{ mm}$
- Přídavná bezpečnostní složka:  $\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$
- Redukce minimální krycí vrstvy při použití nerezové oceli:  

$$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$$
- Redukce minimální krycí vrstvy při použití přídavné ochrany:  

$$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$
- Minimální krycí vrstva:  

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

$$= \max\{20; 25; 10 \text{ mm}\} = 25 \text{ mm}$$
- Toleranční zvětšení:  $\Delta c_{dev} = 5 - 10 \text{ mm}$
- Nominální krycí vrstva:  

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 25 + 5 = 30 \text{ mm}$$

Krytí třmínků:

- Průměr výztuže:  $\emptyset_{sw} = 10 \text{ mm}$
- Minimální krycí vrstva z hlediska soudržnosti:  $c_{min,b} = 10 \text{ mm}$
- Minimální krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí:  $c_{min,dur} = 25 \text{ mm}$
- Přídavná bezpečnostní složka:  $\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$
- Redukce minimální krycí vrstvy při použití nerezové oceli:  

$$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$$
- Redukce minimální krycí vrstvy při použití přídavné ochrany:  

$$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$



- Minimální krycí vrstva:

$$c_{min,sw} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

$$= \max\{10; 25; 10 \text{ mm}\} = 25 \text{ mm}$$

- Toleranční zvětšení:

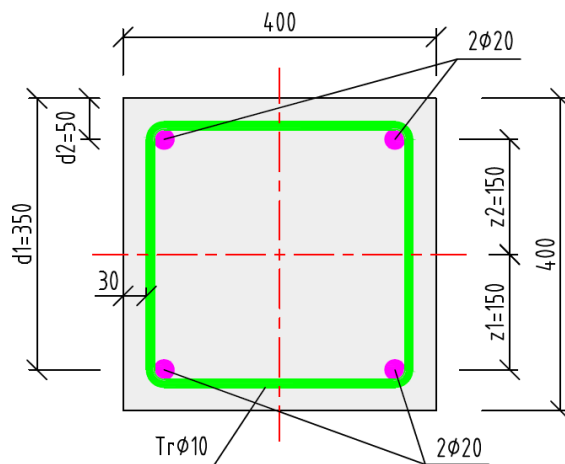
$$\Delta c_{dev} = 5 - 10 \text{ mm}$$

- Nominální krycí vrstva:

$$c_{nom,sw} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 25 + 5 = 30 \text{ mm}$$

Navržené krytí třmíneků je 30 mm, z čehož vyplývá, že krytí podélné nosné výztuže je 40 mm.

### Vstupní parametry



Obr. 97: Průřez sloupu

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,78}{200} = 2,174 \text{ ‰}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,174} = 0,617$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,174} = 2,639$$

- Vzdálenosti výztuže od okraje sloupů:

$$d_1 = h - c_{nom} - \phi_{sw} - \frac{\phi}{2} = 400 - 30 - 10 - \frac{20}{2} = 350 \text{ mm}$$

$$d_2 = c_{nom} + \phi_{sw} + \frac{\phi}{2} = 30 + 10 + \frac{20}{2} = 50 \text{ mm}$$

- Ramena vnitřních sil:

$$z_1 = z_2 = \frac{h}{2} - d_2 = \frac{400}{2} - 50 = 150 \text{ mm}$$

- Plocha betonu:

$$A_c = b \cdot h = 400 \cdot 400 = 0,16 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$

- Plocha výztuže:

$$A_{s,1} = A_{s,2} = n \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 20^2}{4} = 628 \text{ mm}^2$$

### Štíhlostní kritérium pro osamělé prvky

Výpočet je proveden pro případ s maximální normálovou silou a příslušnými momenty v koncových uzlech sloupu jak ve směru  $y$ , tak i ve směru  $z$ . Dále je výpočet proveden pro případ s maximálním momentem, s příslušnou normálovou silou a příslušným momentem v opačném uzlu sloupu.

1. Pro případ maximální normálové síly a příslušných momentů

- Poměrná normálová síla:

$$n = \frac{N_{\max(\text{bot})}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{832,22 \cdot 10^3}{0,16 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,260$$

- Mechanický stupeň vyztužení:

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1256 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,16 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,171$$

- Poměr momentů:

Pro výpočet jsou vybrány příslušné momenty jak ve směru  $y$ , tak i ve směru  $z$ , v koncových uzlech sloupu, k maximální normálové síle.

$$|M_{01}| \leq |M_{02}|$$

$$r_m = \frac{M_{01,z}}{M_{02,z}} = \frac{-0,10}{11,06} = -0,009 ; r_m = \frac{M_{01,y}}{M_{02,y}} = \frac{12,48}{-21,18} = -0,59$$

- Součinitele:

$$A = 0,7$$

$$B = \sqrt{(1 + 2 \cdot \omega)} = \sqrt{(1 + 2 \cdot 0,171)} = 1,158$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 - (-0,009) = 1,709$$

- Limitní štíhlost:

$$\lambda_{lim,n} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,158 \cdot 1,709}{\sqrt{0,260}} = 54,34$$

- Účinná délka pro oboustranně vetknutý sloup výšky 4765 mm:

$$l_0 = l = 4,765 \text{ m}$$

- Moment setrvačnosti průřezu:

$$I = \frac{1}{12} \cdot b^4 = \frac{1}{12} \cdot 0,4^4 = 2,133 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

- Poloměr setrvačnosti průřezu:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{2,133 \cdot 10^{-3}}{0,16}} = 0,1155$$

- Štíhlostní poměr:

$$\lambda_n = \frac{L_0}{i} = \frac{4,765}{0,1155} = 41,26$$

$$\lambda_n = 41,26 < \lambda_{lim,n} = 54,34$$

**VYHOVUJE**

2. Pro případ maximálního momentu a příslušné normálové síly a momentu

- Poměrná normálová síla:

$$n = \frac{N_{přisl,m(top)}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{309,61 \cdot 10^3}{0,16 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,097$$

- Mechanický stupeň vyztužení:

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1256 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,16 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,171$$

- Poměr momentů:

Pro výpočet je vybrán příslušný moment v opačném uzlu sloupu.

$$|M_{01}| \leq |M_{02}|$$

$$r_m = \frac{M_{01,y}}{M_{02,y}} = \frac{60,58}{-87,29} = -0,694$$

- Součinitele:

$$A = 0,7$$

$$B = \sqrt{(1 + 2 \cdot \omega)} = \sqrt{(1 + 2 \cdot 0,171)} = 1,158$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 - (-0,694) = 2,394$$

- Limitní štíhlost:

$$\lambda_{lim,m} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,158 \cdot 2,394}{\sqrt{0,097}} = 124,62$$

$$\lambda_{lim,m} = 75 - \text{Maximální hodnota dle normy [5]}$$

- Účinná délka pro oboustranně vetknutý sloup výšky 3675 mm:

$$l_0 = l = 3,675 \text{ m}$$

- Moment setrvačnosti průřezu:

$$I = \frac{1}{12} \cdot b^4 = \frac{1}{12} \cdot 0,4^4 = 2,133 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

- Poloměr setrvačnosti průřezu:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{2,133 \cdot 10^{-3}}{0,16}} = 0,1155$$

- Štíhlostní poměr:

$$\lambda_m = \frac{L_0}{i} = \frac{3,675}{0,1155} = 31,82$$

$$\lambda_m = 31,82 < \lambda_{lim,m} = 75$$

**VYHOVUJE**

### Geometrické imperfekce

Geometrické imperfekce jsou počítány zvlášť pro sloup v prvním podlaží, kterému přísluší maximální normálová síla, a zvlášť pro sloup druhého podlaží, kterému přísluší maximální ohybový moment.

- Účinná délka pro oboustranně vetknutý sloup výšky 4765 mm:

$$l_{0,a} = l = 4,765 \text{ m}$$

- Účinná délka pro oboustranně vetknutý sloup výšky 3675 mm:

$$l_{0,b} = l = 3,675 \text{ m}$$

- Výstřednost pro sloup výšky 4765 mm:

$$e_{i,a} = l_{0,a}/400 = 4765/400 = 11,9 \text{ mm}$$

- Výstřednost pro sloup výšky 3675 mm:

$$e_{i,b} = l_{0,b}/400 = 3675/400 = 9,2 \text{ mm}$$

- Návrhový moment podle teorie I. řádu s vlivem imperfekcí:

$$\begin{aligned} M_{Ed,přísl,n,z} &= M_{přísl,n,z(bot)} + N_{\max(bot)} \cdot e_{i,a} = 0,10 + 832,22 \cdot 0,0119 \\ &= 10,0 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Ed,přísl,n,y} &= M_{přísl,n,y(bot)} + N_{\max(bot)} \cdot e_{i,a} = 12,48 + 832,22 \cdot 0,0119 \\ &= 22,38 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Ed,max,y} &= M_{\max,y(top)} + N_{přísl,m(top)} \cdot e_{i,b} = 87,29 + 309,61 \cdot 0,0092 \\ &= 90,14 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Ed,přísl,m,z} &= M_{přísl,m,z(top)} + N_{přísl,m(top)} \cdot e_{i,b} = 27,45 + 309,61 \cdot 0,0092 \\ &= 30,30 \text{ kNm} \end{aligned}$$

### Návrhové vnitřní síly

$$N_{Ed,max} = -832,22 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,přísl,n,y} = 22,38 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,přísl,n,z} = 10,0 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,max,y} = 90,14 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,přísl,m} = -309,61 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,přísl,m,z} = 30,30 \text{ kNm}$$

## Body interakčního diagramu

Bod 0 – pouze tlak

$$x = h = 0,4 \text{ m}$$

$$\sigma_s = \varepsilon_{c2} \cdot E_s = 2 \cdot 200 = 400 \text{ MPa} < f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} N_{Rd,0} &= -F_{s1} - F_c - F_{s2} = -(2 \cdot A_s \cdot \sigma_s + A_c \cdot f_{cd}) \\ &= -(2 \cdot 628 \cdot 10^{-6} \cdot 400 \cdot 10^3 + 0,16 \cdot 20 \cdot 10^3) = -3702,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$M_{Rd,0} = F_{s2} \cdot z_2 - F_{s1} \cdot z_1 = 0 \text{ kNm}$$

Bod 1 – Neutrální osa prohází těžištěm výztuže  $A_{sI}$

$$x = d_1 = 0,350 \text{ m}$$

$$d_1 = 350 \text{ mm} > \xi_{bal2} \cdot d_2 = 2,639 \cdot 50 = 132 \text{ mm} \rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} N_{Rd,1} &= -F_c - F_{s2} = -(0,8 \cdot d_1 \cdot b \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot \sigma_{s2}) \\ &= -(0,8 \cdot 0,350 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 10^3 + 628 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3) \\ &= -2513,04 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd,1} &= 0,8 \cdot d_1 \cdot b \cdot f_{cd} \cdot \left(\frac{h}{2} - 0,4 \cdot d_1\right) + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2 \\ &= 0,8 \cdot 0,350 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{0,4}{2} - 0,4 \cdot 0,350\right) + 628 \cdot 10^{-6} \\ &\quad \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,150 = 175,36 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Bod 2 – Rozhraní mezi tlakovým porušením betonu a tahovým porušením oceli

$$\begin{aligned} \xi_{bal1} \cdot d_1 &= 0,617 \cdot 350 = 216 \text{ mm} > \xi_{bal2} \cdot d_2 = 2,639 \cdot 50 = 132 \text{ mm} \rightarrow \sigma_{s1} \\ &= \sigma_{s2} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$x = \xi_{bal1} \cdot d_1 = 0,617 \cdot 0,350 = 0,216 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} N_{Rd,2} &= -F_c - F_{s2} + F_{s1} = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} = 0,8 \cdot 0,216 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 10^3 \\ &= -1382,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{Rd,2} &= 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} \cdot \left( \frac{h}{2} - 0,4 \cdot x \right) + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 \cdot 2 \\
 &= 0,8 \cdot 0,216 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot \left( \frac{0,4}{2} - 0,4 \cdot 0,216 \right) + 628 \cdot 10^{-6} \\
 &\quad \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,15 \cdot 2 = 238,95 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Bod 3 – Prostý ohyb

$$x = ?; F_c = F_s$$

$$N_{Rd,3} = -F_c + F_s = 0 \text{ kN}$$

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{628 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 10^3} = 0,0427 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 M_{Rd,3} &= F_s \cdot (d_1 - 0,4 \cdot x) = 628 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot (0,350 - 0,4 \cdot 0,0427) \\
 &= 90,90 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Bod 4 - Neutrální osa prohází těžištěm výztuže  $A_{s2}$ , průřez je tažený

$$N_{Rd,4} = F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 628 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 273,04 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,4} = F_{s1} \cdot z_1 = 273,04 \cdot 0,150 = 40,96 \text{ kNm}$$

Bod 5 – Průřez je tažený

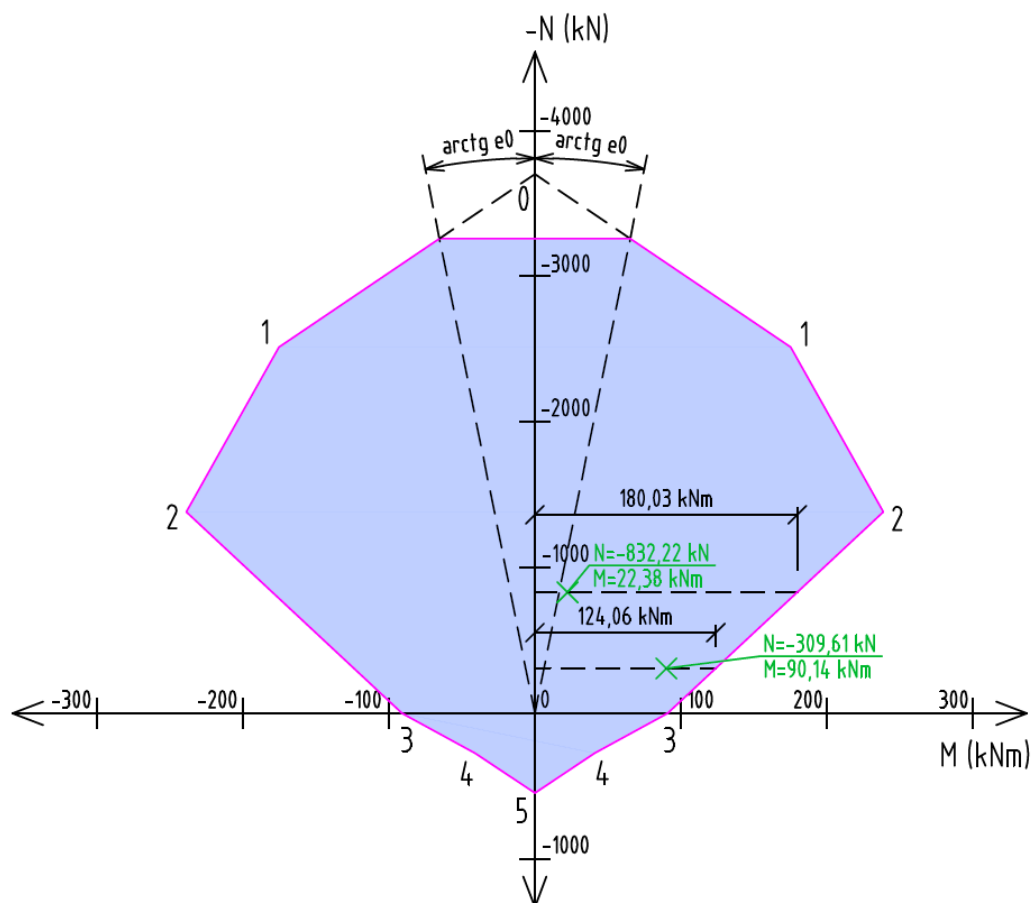
$$N_{Rd,5} = F_{s1} + F_{s2} = 273,06 \cdot 2 = 546,08 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,5} = F_{s1} \cdot z_1 - F_{s2} \cdot z_2 = 0 \text{ kNm}$$

### Interakční diagram

- Výstřednost tlakové normálové síly:

$$e_0 = \max \left\{ \frac{h}{30} \right\}_{20} = \max \left\{ \frac{400}{30} \right\}_{20} = 20 \text{ mm}$$



Obr. 98: Interakční diagram

## Dvouosý ohyb

Podmínky poměrů štíhlosti nemusí být ověřeny, jelikož se nejedná o štíhlý sloup.

Posouzení poměrné výstřednosti

- Poloměr setrvačnosti průřezu vzhledem k ose  $y, z$ :

$$i_{y,z} = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{2,133 \cdot 10^{-3}}{0,16}} = 0,1155$$

- Náhradní rozměry průřezů:

$$b_{eq} = h_{eq} = i_{y,z} \cdot \sqrt{12} = 0,1155 \cdot \sqrt{12} = 0,4 \text{ m}$$



1. Pro  $N_{Ed,max}$ :

- Výstřednost ve směru osy y:

$$e_y = \frac{M_{Ed,přísl,n,y}}{N_{Ed,max}} = \frac{22,38}{832,22} = 0,02689$$

- Výstřednost ve směru osy z:

$$e_z = \frac{M_{Ed,přísl,n,z}}{N_{Ed,max}} = \frac{10,0}{832,22} = 0,01202$$

- Podmínka:

$$\frac{e_y/h_{eq}}{e_z/b_{eq}} = \frac{0,02689/0,4}{0,01202/0,4} = 2,24 \leq 0,2$$

→ Podmínka není splněna, tudíž je potřeba sloup posoudit na dvouosý ohyb.

- Návrhová únosnost osově namáhaného průřezu:

$$\begin{aligned} N_{Rd} &= A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd} = 0,16 \cdot 20 \cdot 10^3 + 1256 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \\ &= 3746,08 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Součinitel  $a$ :

$$\frac{N_{Ed,max}}{N_{Rd}} = \frac{832,22}{3746,08} = 0,222 \rightarrow a = 1,11$$

- Podmínka spolehlivosti:

$$\left( \frac{M_{Ed,přísl,n,y}}{M_{Rd,y}} \right)^a + \left( \frac{M_{Ed,přísl,n,z}}{M_{Rd,z}} \right)^a \leq 1,0$$

$$\left( \frac{22,38}{180,03} \right)^{1,11} + \left( \frac{10,0}{180,03} \right)^{1,11} \leq 1,0$$

$$0,14 < 1,0$$

**VYHOVUJE**

2. Pro  $M_{Ed,max,z}$ :

- Výstřednost ve směru osy y:

$$e_y = \frac{M_{Ed,max,y}}{N_{Ed,přísl,m}} = \frac{90,14}{309,61} = 0,02911$$

- Výstřednost ve směru osy z:

$$e_z = \frac{M_{Ed,přísl,m,z}}{N_{Ed,přísl,m}} = \frac{30,30}{309,61} = 0,09787$$

- Podmínka:

$$\frac{e_y/h_{eq}}{e_z/b_{eq}} = \frac{0,02911/0,4}{0,09787/0,4} = 0,3 \leq 0,2$$

→ Podmínka není splněna, tudíž je potřeba sloup posoudit na dvouosý ohyb.

- Návrhová únosnost osově namáhaného průřezu:

$$N_{Rd} = A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd} = 0,16 \cdot 20 \cdot 10^3 + 1256 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \\ = 3746,08 \text{ kN}$$

- Součinitel  $\alpha$ :

$$\frac{N_{Ed,přísl,m}}{N_{Rd}} = \frac{309,61}{3746,08} = 0,083 \rightarrow \alpha = 1,0$$

- Podmínka spolehlivosti:

$$\left( \frac{M_{Ed,max,y}}{M_{Rd,y}} \right)^\alpha + \left( \frac{M_{Ed,přísl,n,z}}{M_{Rd,z}} \right)^\alpha \leq 1,0$$

$$\left( \frac{90,14}{124,06} \right)^{1,0} + \left( \frac{30,30}{124,06} \right)^{1,0} \leq 1,0$$

$$0,97 < 1,0$$

**VYHOVUJE**

## Konstrukční zásady

Podélná (nosná) výztuž

- Minimální průměr výztuže:

$$\phi_{min} = 12 \text{ mm} < \phi = 20 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

- Omezení množství výztuže:

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,1 \cdot \frac{N_{Ed,max}}{f_{yd}} \\ 0,002 \cdot A_c \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,1 \cdot \frac{832,22 \cdot 10^3}{434,78 \cdot 10^6} \\ 0,002 \cdot 0,16 \end{array} \right\} = 320 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,16 = 6400 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 320 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < A_{s,1} = A_{s,2} = 628 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$A_{s,max} = 6400 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_s = 1256 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Maximální osová vzdálenost výztuže:

$$s_{os,skut} = b - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \phi_{sw} - \phi = 400 - 2 \cdot 30 - 2 \cdot 10 - 20 = 300 \text{ mm}$$

$$s_{os,max} = 400 \text{ mm} > s_{os,skut} = 300 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_{sv,min} = \max \left\{ \begin{matrix} 1,2 \cdot \phi_{max} \\ d_g + 5 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{matrix} \right\} = \max \left\{ \begin{matrix} 1,2 \cdot 20 \\ 22 + 5 \\ 20 \end{matrix} \right\} = 27 \text{ mm}$$

$$s_{sv,skut} = b - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \phi_{sw} - 2 \cdot \phi = 400 - 2 \cdot 30 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 20 = 280 \text{ mm}$$

$$s_{sv,min} = 27 \text{ mm} < s_{sv,skut} = 280 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Příčná výztuž (třmínky)

- Maximální podélná vzdálenost třmínků:

$$s_{sw,max} = \min \left\{ \begin{matrix} 15\phi \\ \min(b, h) \\ 300 \text{ mm} \end{matrix} \right\} = \min \left\{ \begin{matrix} 15 \cdot 20 \\ 400 \\ 300 \end{matrix} \right\} = 300 \text{ mm}$$

- Minimální průměr výztuže:

$$\phi_{sw,min} = 6 \text{ mm} < \phi_{sw} = 10 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

## Kotevní délka

Kotevní délka je počítána pro pruty v dobrých podmínkách soudržnosti.

Pro výztuž  $\phi = 20 \text{ mm}$

- Návrhová hodnota pevnosti betonu v tahu:

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk;0.05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

- Návrhová hodnota mezního napětí v soudržnosti:

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

- Základní požadovaná kotevní délka:

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{20}{4} \cdot \frac{434,78}{3} = 724,6 \approx 730 \text{ mm}$$

- Návrhová kotevní délka:

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 730 = 730 \text{ mm}$$

- Minimální kotevní délka:

$$l_{b,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,6 \cdot l_{b,rqd} \\ 10 \cdot \phi \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,6 \cdot 730 \\ 10 \cdot 20 \\ 100 \end{array} \right\} = 438 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 730 \text{ mm} > l_{b,min} = 438 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

### Délka přesahu

Pro výztuž  $\phi = 20 \text{ mm}$

- Součinitel pro případ, kdy je procento prutů stykovaných přesahem v poměru k celkové průřezové ploše výztuže větší než 50%:

$$\alpha_6 = 1,5$$

- Návrhová délka přesahu:

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 724,6 \approx 1090 \text{ mm}$$

- Minimální délka přesahu:

$$l_{0,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \\ 15 \cdot \phi \\ 200 \text{ mm} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot 1,5 \cdot 730 \\ 15 \cdot 20 \\ 200 \end{array} \right\} = 328,5 \text{ mm}$$

$$l_0 = 1090 \text{ mm} > l_{0,min} = 328,5 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

### 5.5.2 Mezní stav použitelnosti

Sloupy v prvním podlaží jsou navrženy z betonu se stupněm vlivu prostředí XC2, jelikož jsou sloupy zakotveny v základové patce pod úrovní terénu. Maximální šířka trhliny těchto sloupů je  $w_{max} = 0,3 \text{ mm}$ . Sloupy ve druhém podlaží jsou navrženy z betonu se stupněm vlivu prostředí XC1. Maximální šířka trhliny těchto sloupů je  $w_{max} = 0,4 \text{ mm}$  z důvodu

estetického vzhledu. Mezní stav omezení napětí není potřeba vzhledem ke stupni vlivu prostředí XC posuzovat.

## Omezení trhlin

Vnitřní síly:

Vnitřní síly byly vypočteny lineární pružnou analýzou pomocí programu Scia Engineer 16 pro kvazistálou kombinaci zatížení.

- Maximální moment na sloupech v prvním podlaží:

$$M_{max,kvaz,1} = 12,02 \text{ kNm}$$

- Maximální moment na sloupech ve druhém podlaží:

$$M_{max,kvaz,2} = 49,57 \text{ kNm}$$

Ideální průřez plně působící

- Poměr tuhostí výztuže a betonu:

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{33} = 6,061$$

- Plocha ideálního průřezu:

$$\begin{aligned} A_i &= A_c + (\alpha_e - 1) \cdot (A_{s1} + A_{s2}) = 0,16 + (6,061 - 1) \cdot (2 \cdot 628 \cdot 10^{-6}) \\ &= 0,166 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Vzdálenost těžiště ideálního průřezu od horního okraje:

$$\begin{aligned} a_{gi} &= \frac{[A_c \cdot a_c + (\alpha_e - 1) \cdot (A_{s1} \cdot d_1 + A_{s2} \cdot d_2)]}{A_i} \\ &= \frac{[0,16 \cdot 0,2 + (6,061 - 1) \cdot (628 \cdot 10^{-6} \cdot 0,35 + 628 \cdot 10^{-6} \cdot 0,05)]}{0,166} \\ &= 0,2 \text{ m} \end{aligned}$$

- Moment setrvačnosti ideálního průřezu k jeho těžišti:

$$\begin{aligned}
 I_i &= I_c + A_c \cdot (a_{gi} - a_c)^2 + (\alpha_e - 1) \cdot [A_{s1} \cdot (d_1 - a_{gi})^2 + A_{s2} \cdot (a_{gi} - d_2)^2] \\
 &= \frac{1}{12} \cdot 0,4^4 + 0,16 \cdot (0,2 - 0,2)^2 + (6,061 - 1) \\
 &\quad \cdot [628 \cdot 10^{-6} \cdot (0,35 - 0,2)^2 + 628 \cdot 10^{-6} \cdot (0,2 - 0,05)^2] \\
 &= 0,0022764 \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

- Ohybový moment při vzniku trhlin:

$$M_{cr,lt} = f_{ctm} \cdot \frac{I_i}{h - a_{gi}} = 2,9 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,0022764}{0,4 - 0,2} = 33,0 \text{ kNm}$$

Průřez s trhlinami (vyloučený tah v betonu)

- Vzdálenost neutrální osy od tlačného okraje:

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{\alpha_e}{b} \cdot (A_{s1} + A_{s2}) \cdot \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b}{\alpha_e} \cdot \frac{A_{s1} \cdot d_1 + A_{s2} \cdot d_2}{(A_{s1} + A_{s2})^2}} \right] \\
 &= \frac{6,061}{0,4} \cdot 2 \cdot 628 \cdot 10^{-6} \\
 &\quad \cdot \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 0,4}{6,061} \cdot \frac{628 \cdot 10^{-6} \cdot 0,35 + 628 \cdot 10^{-6} \cdot 0,05}{(2 \cdot 628 \cdot 10^{-6})^2}} \right] \\
 &= 0,0703 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Moment setrvačnosti:

$$\begin{aligned}
 I_{ir} &= \frac{1}{3} \cdot b \cdot x^3 + \alpha_e \cdot [A_{s1} \cdot (d_1 - x)^2 + A_{s2} \cdot (x - d_2)^2] \\
 &= \frac{1}{3} \cdot 0,4 \cdot 0,0703^3 + 6,061 \\
 &\quad \cdot [628 \cdot 10^{-6} \cdot (0,35 - 0,0703)^2 + 628 \cdot 10^{-6} \cdot (0,0703 - 0,05)^2] \\
 &= 0,000346 \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

- Krycí vrstva podélné výztuže:

$$c = 0,04 \text{ m}$$

- Průměr prutu podélné výztuže:

$$\varphi = 0,02 \text{ m}$$

- Ostatní vstupní údaje a součinitele:

$$h_{c,eff} = \min \left\{ \frac{2,5 \cdot (h - d_1)}{(h - x)/3}, \frac{h}{2} \right\} = \min \left\{ \frac{2,5 \cdot (0,4 - 0,35)}{(0,4 - 0,0703)/3}, \frac{0,4}{2} \right\} = 0,110 \text{ m}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{b \cdot h_{c,eff}} = \frac{2 \cdot 628 \cdot 10^{-6}}{0,4 \cdot 0,110} = 0,0285$$

$$k_1 = 0,8; k_2 = 0,5; k_3 = 3,4; k_4 = 0,425; k_t = 0,4$$

- Šířka trhliny na sloupu v prvním podlaží:

$$M_{cr,lt} = 33,0 \text{ kNm} > M_{max,kvaz,1} = 12,02 \text{ kNm}$$

→ Trhliny nejsou očekávány.

- Napětí ve výztuži na sloupu ve druhém a třetím podlaží:

$$\begin{aligned} \sigma_{s,2} &= \alpha_e \cdot \frac{M_{max,kvaz,2,3}}{I_{ir}} \cdot (d_1 - x) = 6,061 \cdot \frac{49,57 \cdot 10^{-3}}{0,000346} \cdot (0,35 - 0,0703) \\ &= 242,87 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Šířka trhliny na sloupu ve druhém a třetím podlaží:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$\begin{aligned} w_k &= \left( k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\varphi}{\rho_{p,eff}} \right) \cdot \frac{1}{E_s} \cdot \left[ \sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}) \right] \\ &= \left( 3,4 \cdot 0,04 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{0,02}{0,0285} \right) \cdot \frac{1}{200 \cdot 10^3} \\ &\quad \cdot \left[ 242,87 - 0,4 \cdot \frac{2,9}{0,0285} \cdot (1 + 6,061 \cdot 0,0285) \right] = 0,000249 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_{k,min} &= \left( k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\varphi}{\rho_{p,eff}} \right) \cdot \frac{1}{E_s} \cdot 0,6 \cdot \sigma_s \\ &= \left( 3,4 \cdot 0,04 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{0,02}{0,0285} \right) \cdot \frac{1}{200 \cdot 10^3} \cdot 0,6 \cdot 242,87 \\ &= 0,000186 \text{ m} \end{aligned}$$

$$w_k = 0,249 \text{ mm} < w_{lim} = 0,4 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

## 5.6 Sloupy S4 a S5 v řadách A1 – A2, B1 a C1

Sloupy S4 a S5 jsou stejné, s jediným rozdílem, že sloup S5 nese navíc i desku na úrovni +2,950 m. Sloup S5 je tedy vícekrát přerušen pracovní spárou při betonáži, a obsahuje více třmínků, jelikož třmínky jsou v okolí desek zahuštěny.

### 5.6.1 Mezní stav únosnosti

Sloupy jsou navrženy z betonu C30/37 se stupněm vlivu prostředí XC2, jelikož jsou zakotveny v základové patce pod úrovní terénu. Účinná délka sloupu je uvažována na stranu bezpečnou ( $l = l_0$ ), i když vodorovné síly působící na stavbu přebírá především jádro, tak i přesto může docházet k mírnému vodorovnému posunu stropních desek vůči sobě.

#### Vnitřní síly vypočtené lineární pružnou analýzou

$$\begin{aligned} N_{\max(bot)} &= -372,52 \text{ kN} & M_{přisl,n,y(bot)} &= 10,41 \text{ kNm} \\ & & M_{přisl,n,y(top)} &= -20,71 \text{ kNm} \\ & & M_{přisl,n,z(bot)} &= -2,03 \text{ kNm} \\ & & M_{přisl,n,z(top)} &= 18,72 \text{ kNm} \\ M_{\max,z(top)} &= -51,34 \text{ kNm} & N_{přisl,m(top)} &= -284,13 \text{ kN} \\ & & M_{přisl,m,z(bot)} &= 36,80 \text{ kNm} \\ & & M_{přisl,m,y(top)} &= -15,61 \text{ kNm} \end{aligned}$$

#### Krytí

Návrhová životnost konstrukce třídy S4 je 50 let.

Krytí hlavní nosné výztuže:

- Průměr výztuže:  $\varnothing = 16 \text{ mm}$
- Minimální krycí vrstva z hlediska soudržnosti:  $c_{min,b} = 16 \text{ mm}$
- Minimální krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí:  $c_{min,dur} = 25 \text{ mm}$
- Přídavná bezpečnostní složka:  $\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$



- Redukce minimální krycí vrstvy při použití nerezové oceli:

$$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$$

- Redukce minimální krycí vrstvy při použití přídavné ochrany:

$$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

- Minimální krycí vrstva:

$$\begin{aligned} c_{min} &= \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\} \\ &= \max\{16; 25; 10 \text{ mm}\} = 25 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Toleranční zvětšení:

$$\Delta c_{dev} = 5 - 10 \text{ mm}$$

- Nominální krycí vrstva:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 25 + 5 = 30 \text{ mm}$$

Krytí třmínků:

- Průměr výztuže:

$$\phi_{sw} = 10 \text{ mm}$$

- Minimální krycí vrstva z hlediska soudržnosti:

$$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$$

- Minimální krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí:

$$c_{min,dur} = 25 \text{ mm}$$

- Přídavná bezpečnostní složka:

$$\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$$

- Redukce minimální krycí vrstvy při použití nerezové oceli:

$$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$$

- Redukce minimální krycí vrstvy při použití přídavné ochrany:

$$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

- Minimální krycí vrstva:

$$\begin{aligned} c_{min,sw} &= \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\} \\ &= \max\{10; 25; 10 \text{ mm}\} = 25 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Toleranční zvětšení:

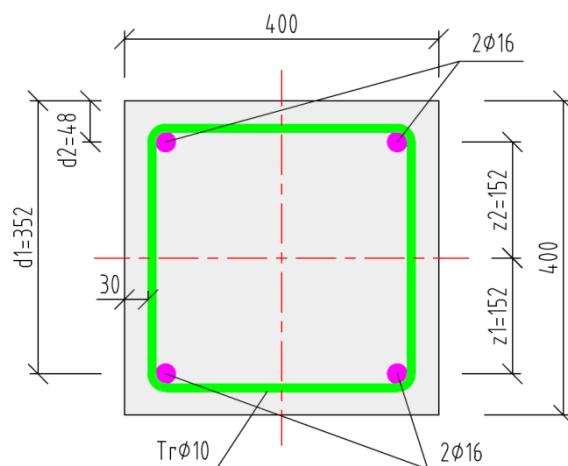
$$\Delta c_{dev} = 5 - 10 \text{ mm}$$

- Nominální krycí vrstva:

$$c_{nom,sw} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 25 + 5 = 30 \text{ mm}$$

Navržené krytí třmínků je 30 mm, z čehož vyplývá, že krytí podélné nosné výztuže je 40 mm.

## Vstupní parametry



Obr. 99: Průřez sloupu

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,78}{200} = 2,174 \text{ ‰}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,174} = 0,617$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,174} = 2,639$$

- Vzdálenosti výztuže od okraje sloupů:

$$d_1 = h - c_{nom} - \phi_{sw} - \frac{\phi}{2} = 400 - 30 - 10 - \frac{16}{2} = 352 \text{ mm}$$

$$d_2 = c_{nom} + \phi_{sw} + \frac{\phi}{2} = 30 + 10 + \frac{16}{2} = 48 \text{ mm}$$

- Ramena vnitřních sil:

$$z_1 = z_2 = \frac{h}{2} - d_2 = \frac{400}{2} - 48 = 152 \text{ mm}$$

- Plocha betonu:

$$A_c = b \cdot h = 400 \cdot 400 = 0,16 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$

- Plocha výztuže:

$$A_{s,1} = A_{s,2} = n \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 16^2}{4} = 402 \text{ mm}^2$$

## Štíhlostní kritérium pro osamělé prvky

Výpočet je proveden pro případ s maximální normálovou silou a příslušnými momenty v koncových uzlech sloupu jak ve směru  $y$ , tak i ve směru  $z$ . Dále je výpočet proveden pro případ s maximálním momentem, s příslušnou normálovou silou a příslušným momentem v opačném uzlu sloupu.

### 1. Pro případ maximální normálové síly a příslušných momentů

- Poměrná normálová síla:

$$n = \frac{N_{\max(\text{bot})}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{372,52 \cdot 10^3}{0,16 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,116$$

- Mechanický stupeň vyztužení:

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{804 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,16 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,109$$

- Poměr momentů:

Pro výpočet jsou vybrány příslušné momenty jak ve směru  $y$ , tak i ve směru  $z$ , v koncových uzlech sloupu, k maximální normálové síle.

$$|M_{01}| \leq |M_{02}|$$

$$r_m = \frac{M_{01,z}}{M_{02,z}} = \frac{-2,03}{18,72} = -0,11; \quad r_m = \frac{M_{01,y}}{M_{02,y}} = \frac{10,41}{-20,71} = -0,50$$

- Součinitele:

$$A = 0,7$$

$$B = \sqrt{(1 + 2 \cdot \omega)} = \sqrt{(1 + 2 \cdot 0,109)} = 1,104$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 - (-0,11) = 1,81$$

- Limitní štíhlost:

$$\lambda_{\lim,n} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,104 \cdot 1,81}{\sqrt{0,116}} = 68,66$$

- Účinná délka pro oboustranně vetknutý sloup výšky 4765 mm:

$$l_0 = l = 4,765 \text{ m}$$

- Moment setrvačnosti průřezu:

$$I = \frac{1}{12} \cdot b^4 = \frac{1}{12} \cdot 0,4^4 = 2,133 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

- Poloměr setrvačnosti průřezu:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{2,133 \cdot 10^{-3}}{0,16}} = 0,1155$$

- Štíhlostní poměr:

$$\lambda_n = \frac{L_0}{i} = \frac{4,765}{0,1155} = 41,26$$

$$\lambda_n = 41,26 < \lambda_{lim,n} = 68,66$$

**VYHOVUJE**

2. Pro případ maximálního momentu a příslušné normálové síly a momentu

- Poměrná normálová síla:

$$n = \frac{N_{přisl,m}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{284,13 \cdot 10^3}{0,16 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,089$$

- Mechanický stupeň vyztužení:

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{804 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,16 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,109$$

- Poměr momentů:

Pro výpočet je vybrán příslušný moment v opačném uzlu sloupu.

$$|M_{01}| \leq |M_{02}|$$

$$r_m = \frac{M_{01,z}}{M_{02,z}} = \frac{36,80}{-51,34} = -0,72$$

- Součinitele:

$$A = 0,7$$

$$B = \sqrt{(1 + 2 \cdot \omega)} = \sqrt{(1 + 2 \cdot 0,109)} = 1,104$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 - (-0,72) = 2,42$$

- Limitní štíhlost:

$$\lambda_{lim,m} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,104 \cdot 2,42}{\sqrt{0,089}} = 125,38$$

$$\lambda_{lim,m} = 75 - \text{Maximální hodnota dle normy [5]}$$

- Štíhlostní poměr:

$$\lambda_m = \lambda_n = 41,26$$

$$\lambda_m = 41,26 < \lambda_{lim,m} = 75$$

**VYHOVUJE**

### Geometrické imperfekce

- Účinná délka pro oboustranně vetknutý sloup výšky 4765 mm:

$$l_{0,a} = l = 4,765 \text{ m}$$

- Výstřednost pro sloup výšky 4765 mm:

$$e_{i,a} = l_{0,a}/400 = 4765/400 = 11,9 \text{ mm}$$

- Návrhový moment podle teorie I. řádu s vlivem imperfekcí:

$$\begin{aligned} M_{Ed,přisl,n,z} &= M_{přisl,n,z(bot)} + N_{\max(bot)} \cdot e_{i,a} = 2,03 + 372,52 \cdot 0,0119 \\ &= 6,46 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Ed,přisl,n,y} &= M_{přisl,n,y(bot)} + N_{\max(bot)} \cdot e_{i,a} = 10,41 + 372,52 \cdot 0,0119 \\ &= 14,84 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Ed,\max,z} &= M_{\max,z(top)} + N_{přisl,m(top)} \cdot e_{i,a} = 51,34 + 284,13 \cdot 0,0119 \\ &= 54,72 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Ed,přisl,m,y} &= M_{přisl,m,y(top)} + N_{přisl,m(top)} \cdot e_{i,a} = 15,61 + 284,13 \cdot 0,0119 \\ &= 19,0 \text{ kNm} \end{aligned}$$

### Návrhové vnitřní síly

$$N_{Ed,\max} = -372,52 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,přisl,n,z} = 6,46 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,přisl,n,y} = 14,84 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,\max,z} = 54,72 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,přisl,m} = -284,13 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,přisl,m,y} = 19,0 \text{ kNm}$$

## Body interakčního diagramu

Bod 0 – pouze tlak

$$x = h = 0,4 \text{ m}$$

$$\sigma_s = \varepsilon_{c2} \cdot E_s = 2 \cdot 200 = 400 \text{ MPa} < f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} N_{Rd,0} &= -F_{s1} - F_c - F_{s2} = -(2 \cdot A_s \cdot \sigma_s + A_c \cdot f_{cd}) \\ &= -(2 \cdot 402 \cdot 10^{-6} \cdot 400 \cdot 10^3 + 0,16 \cdot 20 \cdot 10^3) = -3521,6 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$M_{Rd,0} = F_{s2} \cdot z_2 - F_{s1} \cdot z_1 = 0 \text{ kNm}$$

Bod 1 – Neutrální osa prohází těžištěm výztuže  $A_{sI}$

$$x = d_1 = 0,352 \text{ m}$$

$$d_1 = 352 \text{ mm} > \xi_{bal2} \cdot d_2 = 2,639 \cdot 48 = 126,7 \text{ mm} \rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} N_{Rd,1} &= -F_c - F_{s2} = -(0,8 \cdot d_1 \cdot b \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot \sigma_{s2}) \\ &= -(0,8 \cdot 0,352 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 10^3 + 402 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3) \\ &= -2427,58 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd,1} &= 0,8 \cdot d_1 \cdot b \cdot f_{cd} \cdot \left(\frac{h}{2} - 0,4 \cdot d_1\right) + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2 \\ &= 0,8 \cdot 0,352 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{0,4}{2} - 0,4 \cdot 0,352\right) + 402 \cdot 10^{-6} \\ &\quad \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,152 = 159,93 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Bod 2 – Rozhraní mezi tlakovým porušením betonu a tahovým porušením oceli

$$\begin{aligned} \xi_{bal1} \cdot d_1 &= 0,617 \cdot 352 = 217 \text{ mm} > \xi_{bal2} \cdot d_2 = 2,639 \cdot 48 = 126,7 \text{ mm} \rightarrow \sigma_{s1} \\ &= \sigma_{s2} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$x = \xi_{bal1} \cdot d_1 = 0,617 \cdot 0,352 = 0,217 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} N_{Rd,2} &= -F_c - F_{s2} + F_{s1} = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} = 0,8 \cdot 0,217 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 10^3 \\ &= -1388,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{Rd,2} &= 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} \cdot \left( \frac{h}{2} - 0,4 \cdot x \right) + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 \cdot 2 \\
 &= 0,8 \cdot 0,217 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot \left( \frac{0,4}{2} - 0,4 \cdot 0,217 \right) + 402 \cdot 10^{-6} \\
 &\quad \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,152 \cdot 2 = 210,35 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Bod 3 – Prostý ohyb

$$x = ?; F_c = F_s$$

$$N_{Rd,3} = -F_c + F_s = 0 \text{ kN}$$

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{402 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 10^3} = 0,0273 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 M_{Rd,3} &= F_s \cdot (d_1 - 0,4 \cdot x) = 402 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot (0,352 - 0,4 \cdot 0,0273) \\
 &= 59,61 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Bod 4 - Neutrální osa prochází těžištěm výztuže  $A_{s2}$ , průřez je tažený

$$N_{Rd,4} = F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 402 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 174,78 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,4} = F_{s1} \cdot z_1 = 174,78 \cdot 0,152 = 26,57 \text{ kNm}$$

Bod 5 – Průřez je tažený

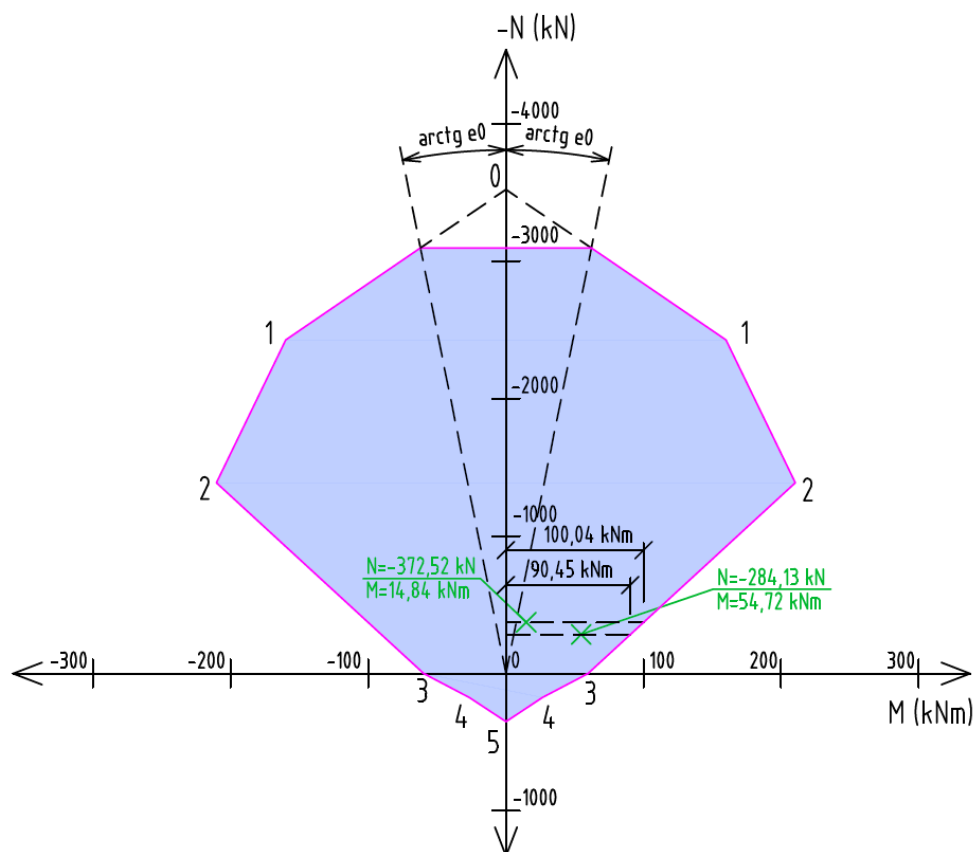
$$N_{Rd,5} = F_{s1} + F_{s2} = 174,78 \cdot 2 = 349,56 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,5} = F_{s1} \cdot z_1 - F_{s2} \cdot z_2 = 0 \text{ kNm}$$

### Interakční diagram

- Výstřednost tlakové normálové síly:

$$e_0 = \max \left\{ \frac{h}{30} \right\}_{20} = \max \left\{ \frac{400}{30} \right\}_{20} = 20 \text{ mm}$$



Obr. 100: Interakční diagram

## Dvouosý ohyb

Podmínky poměrů štíhlosti nemusí být ověřeny, jelikož se nejedná o štíhlý sloup.

Posouzení poměrné výstřednosti

- Poloměr setrvačnosti průřezu vzhledem k ose  $y, z$ :

$$i_{y,z} = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{2,133 \cdot 10^{-3}}{0,16}} = 0,1155$$

- Náhradní rozměry průřezů:

$$b_{eq} = h_{eq} = i_{y,z} \cdot \sqrt{12} = 0,1155 \cdot \sqrt{12} = 0,4 \text{ m}$$



1. Pro  $N_{Ed,max}$ :

- Výstřednost ve směru osy y:

$$e_y = \frac{M_{Ed,přísl,n,y}}{N_{Ed,max}} = \frac{14,84}{372,52} = 0,03984$$

- Výstřednost ve směru osy z:

$$e_z = \frac{M_{Ed,přísl,n,z}}{N_{Ed,max}} = \frac{6,46}{372,52} = 0,01734$$

- Podmínka:

$$\frac{e_y/h_{eq}}{e_z/b_{eq}} = \frac{0,03984/0,4}{0,01734/0,4} = 2,30 \leq 0,2$$

→ Podmínka není splněna, tudíž je potřeba sloup posoudit na dvouosý ohyb.

- Návrhová únosnost osově namáhaného průřezu:

$$\begin{aligned} N_{Rd} &= A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd} = 0,16 \cdot 20 \cdot 10^3 + 804 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \\ &= 3549,56 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Součinitel  $a$ :

$$\frac{N_{Ed,max}}{N_{Rd}} = \frac{372,52}{3549,56} = 0,105 \rightarrow a = 1,0$$

- Podmínka spolehlivosti:

$$\left( \frac{M_{Ed,přísl,n,y}}{M_{Rd,y}} \right)^a + \left( \frac{M_{Ed,přísl,n,z}}{M_{Rd,z}} \right)^a \leq 1,0$$

$$\left( \frac{14,84}{100,04} \right)^1 + \left( \frac{6,46}{100,04} \right)^1 \leq 1,0$$

$$0,21 < 1$$

**VYHOVUJE**

2. Pro  $M_{Ed,max,z}$ :

- Výstřednost ve směru osy y:

$$e_y = \frac{M_{Ed,přísl,m,y}}{N_{Ed,přísl,m}} = \frac{19,0}{284,13} = 0,06687$$

- Výstřednost ve směru osy z:

$$e_z = \frac{M_{Ed,max,z}}{N_{Ed,přísl,m}} = \frac{54,72}{284,13} = 0,19259$$

- Podmínka:

$$\frac{e_y/h_{eq}}{e_z/b_{eq}} = \frac{0,06687/0,4}{0,19259/0,4} = 0,34 \leq 0,2$$

→ Podmínka není splněna, tudíž je potřeba sloup posoudit na dvouosý ohyb.

- Návrhová únosnost osově namáhaného průřezu:

$$N_{Rd} = A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd} = 0,16 \cdot 20 \cdot 10^3 + 804 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \\ = 3549,56 \text{ kN}$$

- Součinitel  $a$ :

$$\frac{N_{Ed,přísl,m}}{N_{Rd}} = \frac{284,13}{3549,56} = 0,08 \rightarrow a = 1,0$$

- Podmínka spolehlivosti:

$$\left( \frac{M_{Ed,přísl,m,y}}{M_{Rd,y}} \right)^a + \left( \frac{M_{Ed,max,z}}{M_{Rd,z}} \right)^a \leq 1,0$$

$$\left( \frac{19,0}{90,45} \right)^1 + \left( \frac{54,72}{90,45} \right)^1 \leq 1,0$$

$$0,82 < 1$$

**VYHOVUJE**

## Konstrukční zásady

Podélná (nosná) výztuž

- Minimální průměr výztuže:

$$\phi_{min} = 12 \text{ mm} < \phi = 16 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

- Omezení množství výztuže:

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,1 \cdot \frac{N_{Ed,max}}{f_{yd}} \\ 0,002 \cdot A_c \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,1 \cdot \frac{372,52 \cdot 10^3}{434,78 \cdot 10^6} \\ 0,002 \cdot 0,16 \end{array} \right\} = 320 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,16 = 6400 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 320 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < A_{s,1} = A_{s,2} = 402 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$A_{s,max} = 6400 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_s = 804 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Maximální osová vzdálenost výztuže:

$$s_{os,skut} = b - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \phi_{sw} - \phi = 400 - 2 \cdot 30 - 2 \cdot 10 - 16 = 304 \text{ mm}$$

$$s_{os,max} = 400 \text{ mm} > s_{os,skut} = 304 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_{sv,min} = \max \left\{ \begin{matrix} 1,2 \cdot \phi_{max} \\ d_g + 5 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{matrix} \right\} = \max \left\{ \begin{matrix} 1,2 \cdot 16 \\ 22 + 5 \\ 20 \end{matrix} \right\} = 27 \text{ mm}$$

$$s_{sv,skut} = b - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot \phi_{sw} - 2 \cdot \phi = 400 - 2 \cdot 30 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 16 = 288 \text{ mm}$$

$$s_{sv,min} = 27 \text{ mm} < s_{sv,skut} = 288 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Příčná výztuž (třmínky)

- Maximální podélná vzdálenost třmínků:

$$s_{sw,max} = \min \left\{ \begin{matrix} 15\phi \\ \min(b, h) \\ 300 \text{ mm} \end{matrix} \right\} = \min \left\{ \begin{matrix} 15 \cdot 16 \\ 400 \\ 300 \end{matrix} \right\} = 240 \text{ mm}$$

- Minimální průměr výztuže:

$$\phi_{sw,min} = 6 \text{ mm} < \phi_{sw} = 10 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

## Kotevní délka

Kotevní délka je počítána pro pruty v dobrých podmínkách soudržnosti.

Pro výztuž  $\phi = 16 \text{ mm}$

- Návrhová hodnota pevnosti betonu v tahu:

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk;0.05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

- Návrhová hodnota mezního napětí v soudržnosti:

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

- Základní požadovaná kotevní délka:

$$l_{b,rqd} = \frac{\sigma}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{16}{4} \cdot \frac{434,78}{3} = 580 \approx 580 \text{ mm}$$

- Návrhová kotevní délka:

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 580 = 580 \text{ mm}$$

- Minimální kotevní délka:

$$l_{b,min} = \max \left\{ \begin{array}{c} 0,6 \cdot l_{b,rqd} \\ 10 \cdot \varnothing \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{c} 0,6 \cdot 580 \\ 10 \cdot 16 \\ 100 \end{array} \right\} = 348 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 580 \text{ mm} > l_{b,min} = 348 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

### Délka přesahu

Pro výztuž  $\varnothing = 16 \text{ mm}$

- Součinitel pro případ, kdy je procento prutů stykovaných přesahem v poměru k celkové průřezové ploše výztuže větší než 50%:

$$\alpha_6 = 1,5$$

- Návrhová délka přesahu:

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 580 \approx 870 \text{ mm}$$

- Minimální délka přesahu:

$$l_{0,min} = \max \left\{ \begin{array}{c} 0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \\ 15 \cdot \varnothing \\ 200 \text{ mm} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{c} 0,3 \cdot 1,5 \cdot 580 \\ 15 \cdot 16 \\ 200 \end{array} \right\} = 261 \text{ mm}$$

$$l_0 = 870 \text{ mm} > l_{0,min} = 261 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

### 5.6.2 Mezní stav použitelnosti

Sloupy v prvním podlaží jsou navrženy z betonu se stupněm vlivu prostředí XC2, jelikož jsou sloupy zakotveny v základové patce pod úrovní terénu. Maximální šířka trhliny těchto sloupů je  $w_{max} = 0,3 \text{ mm}$ . Mezní stav omezení napětí není potřeba vzhledem ke stupni vlivu prostředí XC posuzovat.

## Omezení trhlin

Vnitřní síly:

Vnitřní síly byly vypočteny lineární pružnou analýzou pomocí programu Scia Engineer 16 pro kvazistálou kombinaci zatížení.

- Maximální moment na sloupech v prvním podlaží:

$$M_{max,kvaz,1} = 21,68 \text{ kNm}$$

Ideální průřez plně působící

- Poměr tuhostí výztuže a betonu:

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{33} = 6,061$$

- Plocha ideálního průřezu:

$$\begin{aligned} A_i &= A_c + (\alpha_e - 1) \cdot (A_{s1} + A_{s2}) = 0,16 + (6,061 - 1) \cdot (2 \cdot 402 \cdot 10^{-6}) \\ &= 0,164 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Vzdálenost těžiště ideálního průřezu od horního okraje:

$$\begin{aligned} a_{gi} &= \frac{[A_c \cdot a_c + (\alpha_e - 1) \cdot (A_{s1} \cdot d_1 + A_{s2} \cdot d_2)]}{A_i} \\ &= \frac{[0,16 \cdot 0,2 + (6,061 - 1) \cdot (402 \cdot 10^{-6} \cdot 0,352 + 402 \cdot 10^{-6} \cdot 0,048)]}{0,164} = 0,2 \text{ m} \end{aligned}$$

- Moment setrvačnosti ideálního průřezu k jeho těžišti:

$$\begin{aligned} I_i &= I_c + A_c \cdot (a_{gi} - a_c)^2 + (\alpha_e - 1) \cdot [A_{s1} \cdot (d_1 - a_{gi})^2 + A_{s2} \cdot (a_{gi} - d_2)^2] \\ &= \frac{1}{12} \cdot 0,4^4 + 0,16 \cdot (0,2 - 0,2)^2 + (6,061 - 1) \\ &\quad \cdot [402 \cdot 10^{-6} \cdot (0,352 - 0,2)^2 + 402 \cdot 10^{-6} \cdot (0,2 - 0,048)^2] \\ &= 0,002227 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

- Ohybový moment při vzniku trhlin:

$$M_{cr,lt} = f_{ctm} \cdot \frac{I_i}{h - a_{gi}} = 2,9 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,002227}{0,4 - 0,2} = 32,29 \text{ kNm}$$

Průřez s trhlinami (vyloučený tah v betonu)

- Vzdálenost neutrální osy od tlačného okraje:

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{\alpha_e}{b} \cdot (A_{s1} + A_{s2}) \cdot \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b}{\alpha_e} \cdot \frac{A_{s1} \cdot d_1 + A_{s2} \cdot d_2}{(A_{s1} + A_{s2})^2}} \right] \\
 &= \frac{6,061}{0,4} \cdot 2 \cdot 402 \cdot 10^{-6} \\
 &\quad \cdot \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 0,4}{6,061} \cdot \frac{402 \cdot 10^{-6} \cdot 0,352 + 402 \cdot 10^{-6} \cdot 0,048}{(2 \cdot 402 \cdot 10^{-6})^2}} \right] \\
 &= 0,0742 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Moment setrvačnosti:

$$\begin{aligned}
 I_{ir} &= \frac{1}{3} \cdot b \cdot x^3 + \alpha_e \cdot [A_{s1} \cdot (d_1 - x)^2 + A_{s2} \cdot (x - d_2)^2] \\
 &= \frac{1}{3} \cdot 0,4 \cdot 0,0742^3 + 6,061 \\
 &\quad \cdot [402 \cdot 10^{-6} \cdot (0,352 - 0,0742)^2 + 402 \cdot 10^{-6} \cdot (0,0742 - 0,048)^2] \\
 &= 0,0002442 \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

- Krycí vrstva podélné výztuže:

$$c = 0,04 \text{ m}$$

- Průměr prutu podélné výztuže:

$$\varphi = 0,016 \text{ m}$$

- Ostatní vstupní údaje a součinitele:

$$h_{c,eff} = \min \left\{ \begin{array}{c} 2,5 \cdot (h - d_1) \\ (h - x)/3 \\ h/2 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{c} 2,5 \cdot (0,4 - 0,352) \\ (0,4 - 0,0742)/3 \\ 0,4/2 \end{array} \right\} = 0,109 \text{ m}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{b \cdot h_{c,eff}} = \frac{2 \cdot 402 \cdot 10^{-6}}{0,4 \cdot 0,109} = 0,0184$$

$$k_1 = 0,8; k_2 = 0,5; k_3 = 3,4; k_4 = 0,425; k_t = 0,4$$

- Šířka trhliny na sloupu:

$$M_{cr,lt} = 32,29 \text{ kNm} > M_{max,kvaz,1} = 21,68 \text{ kNm}$$

→ Trhliny nejsou očekávány.

## 5.7 Sloupy S6 v řadách A3 – A5

### 5.7.1 Mezní stav únosnosti

Sloupy jsou navrženy z betonu C30/37 se stupněm vlivu prostředí XC2, jelikož jsou zakotveny v základové patce pod úrovní terénu. Účinná délka sloupu je uvažována na stranu bezpečnou ( $l = l_0$ ), i když vodorovné síly působící na stavbu přebírá především jádro, tak i přesto může docházet k mírnému vodorovnému posunu stropních desek vůči sobě.

#### Vnitřní síly vypočtené lineární pružnou analýzou

$$\begin{aligned}N_{\max(bot)} &= -164,48 \text{ kN} & M_{přisl,n,z(bot)} &= 29,61 \text{ kNm} \\M_{přisl,n,z(top)} &= -41,73 \text{ kNm} \\M_{přisl,n,y(bot)} &= -10,23 \text{ kNm} \\M_{přisl,n,y(top)} &= 9,18 \text{ kNm} \\M_{\max,z(top)} &= -62,42 \text{ kNm} & N_{přisl,m(top)} &= -142,09 \text{ kN} \\M_{přisl,m,z(bot)} &= 43,71 \text{ kNm} \\M_{přisl,m,y(top)} &= 9,18 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Sloup je vyztužen stejně jako sloup S4 a S5 (viz 5.6) a sice 4Ø16 v rozích. Třmínky Ø10/240 mm. Krytí třmínků je 30 mm.

#### Štíhlostní kritérium pro osamělé prvky

Výpočet je proveden pro případ s maximální normálovou silou a příslušnými momenty v koncových uzlech sloupu jak ve směru  $y$ , tak i ve směru  $z$ . Dále je výpočet proveden pro případ s maximálním momentem, s příslušnou normálovou silou a příslušným momentem v opačném uzlu sloupu.

1. Pro případ maximální normálové síly a příslušných momentů

- Poměrná normálová síla:

$$n = \frac{N_{\max}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{164,48 \cdot 10^3}{0,16 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,051$$

- Mechanický stupeň vyztužení:

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{804 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,16 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,109$$

- Poměr momentů:

Pro výpočet jsou vybrány příslušné momenty jak ve směru  $y$ , tak i ve směru  $z$ , v koncových uzlech sloupu, k maximální normálové síle.

$$|M_{01}| \leq |M_{02}|$$

$$r_m = \frac{M_{01,z}}{M_{02,z}} = \frac{29,61}{-41,73} = -0,71 ; r_m = \frac{M_{01,y}}{M_{02,y}} = \frac{9,18}{-10,23} = -0,9$$

- Součinitele:

$$A = 0,7$$

$$B = \sqrt{(1 + 2 \cdot \omega)} = \sqrt{(1 + 2 \cdot 0,109)} = 1,104$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 - (-0,71) = 2,41$$

- Limitní štíhlost:

$$\lambda_{lim,n} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,104 \cdot 2,41}{\sqrt{0,051}} = 164,94$$

$$\lambda_{lim,n} = 75 - \text{Maximální hodnota dle normy [5]}$$

- Účinná délka pro oboustranně vetknutý sloup výšky 3675 mm:

$$l_0 = l = 3,675 \text{ m}$$

- Moment setrvačnosti průřezu:

$$I = \frac{1}{12} \cdot b^4 = \frac{1}{12} \cdot 0,4^4 = 2,133 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

- Poloměr setrvačnosti průřezu:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{2,133 \cdot 10^{-3}}{0,16}} = 0,1155$$

- Štíhlostní poměr:

$$\lambda_n = \frac{L_0}{i} = \frac{3,675}{0,1155} = 31,82$$

$$\lambda_n = 31,82 < \lambda_{lim,n} = 75$$

**VYHOVUJE**



2. Pro případ maximálního momentu a příslušné normálové síly a momentu

- Poměrná normálová síla:

$$n = \frac{N_{přisl,m}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{142,09 \cdot 10^3}{0,16 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,045$$

- Mechanický stupeň vyztužení:

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{804 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,16 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,109$$

- Poměr momentů:

Pro výpočet je vybrán příslušný moment v opačném uzlu sloupu.

$$|M_{01}| \leq |M_{02}|$$

$$r_m = \frac{M_{01,z}}{M_{02,z}} = \frac{43,71}{-62,42} = -0,7$$

- Součinitele:

$$A = 0,7$$

$$B = \sqrt{(1 + 2 \cdot \omega)} = \sqrt{(1 + 2 \cdot 0,109)} = 1,104$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 - (-0,7) = 2,4$$

- Limitní štíhlost:

$$\lambda_{lim,m} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,104 \cdot 2,4}{\sqrt{0,045}} = 174,86$$

$$\lambda_{lim,m} = 75 - \text{Maximální hodnota dle normy [5]}$$

- Štíhlostní poměr:

$$\lambda_m = \lambda_n = 31,82$$

$$\lambda_m = 31,82 < \lambda_{lim,m} = 75$$

**VYHOVUJE**

### Geometrické imperfekce

- Účinná délka pro oboustranně vetknutý sloup výšky 3675 mm:

$$l_{0,b} = l = 3,675 \text{ m}$$

- Výstřednost pro sloup výšky 3675 mm:

$$e_{i,b} = l_{0,b}/400 = 3675/400 = 9,2 \text{ mm}$$

- Návrhový moment podle teorie I. řádu s vlivem imperfekcí:

$$\begin{aligned} M_{Ed,přísl,n,z} &= M_{přísl,n,z(bot)} + N_{\max(bot)} \cdot e_{i,b} = 29,61 + 164,48 \cdot 0,0092 \\ &= 31,12 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Ed,přísl,n,y} &= M_{přísl,n,y(bot)} + N_{\max(bot)} \cdot e_{i,b} = 10,23 + 164,48 \cdot 0,0092 \\ &= 11,74 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Ed,\max,z} &= M_{\max,z(top)} + N_{přísl,m(top)} \cdot e_{i,b} = 62,42 + 142,09 \cdot 0,0092 \\ &= 63,73 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Ed,přísl,m,y} &= M_{přísl,m,y(top)} + N_{přísl,m(top)} \cdot e_{i,b} = 9,18 + 142,09 \cdot 0,0092 \\ &= 10,49 \text{ kNm} \end{aligned}$$

#### Návrhové vnitřní síly

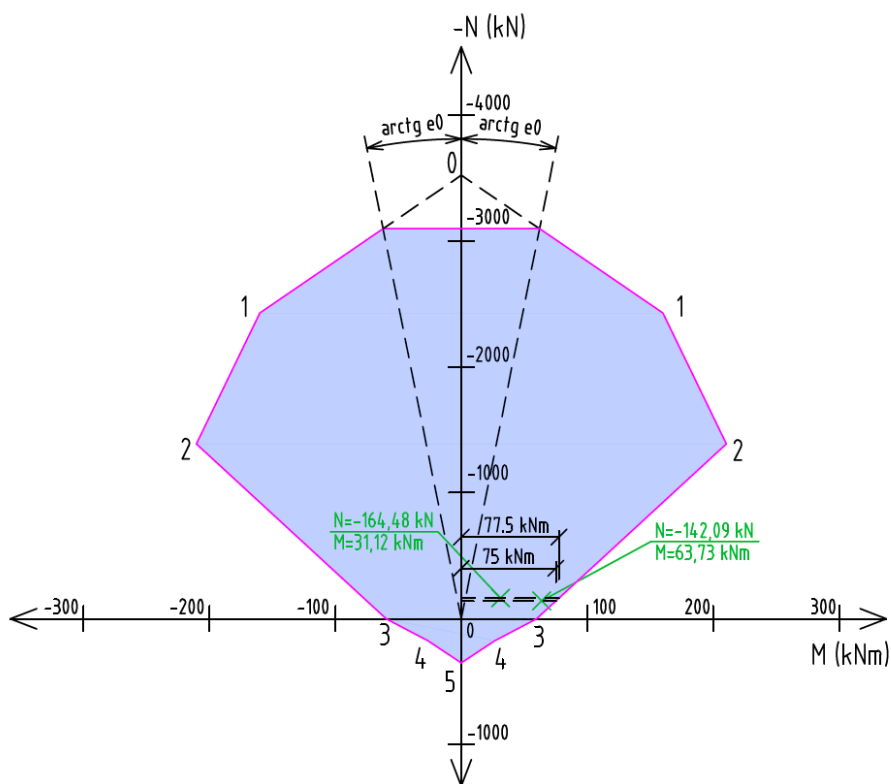
$$N_{Ed,\max} = -164,48 \text{ kN} \qquad M_{Ed,přísl,n,z} = 31,12 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,přísl,n,y} = 11,74 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,\max,z} = 63,73 \text{ kNm} \qquad N_{Ed,přísl,m} = -142,09 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,přísl,m,y} = 10,49 \text{ kNm}$$

## Interakční diagram



Obr. 101: Interakční diagram

## Dvouosý ohyb

Podmínky poměrů štíhlosti nemusí být ověřeny, jelikož se nejedná o štíhlý sloup.

Posouzení poměrné výstřednosti

- Poloměr setrvačnosti průřezu vzhledem k ose  $y, z$ :

$$i_{y,z} = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{2,133 \cdot 10^{-3}}{0,16}} = 0,1155$$

- Náhradní rozměry průřezů:

$$b_{eq} = h_{eq} = i_{y,z} \cdot \sqrt{12} = 0,1155 \cdot \sqrt{12} = 0,4 \text{ m}$$

1. Pro  $N_{Ed,max}$ :

- Výstřednost ve směru osy y:

$$e_y = \frac{M_{Ed,přísl,n,y}}{N_{Ed,max}} = \frac{11,74}{164,48} = 0,0714$$

- Výstřednost ve směru osy z:

$$e_z = \frac{M_{Ed,přísl,n,z}}{N_{Ed,max}} = \frac{31,12}{164,48} = 0,1892$$

- Podmínka:

$$\frac{e_y/h_{eq}}{e_z/b_{eq}} = \frac{0,0714/0,4}{0,1892/0,4} = 0,38 \leq 0,2$$

→ Podmínka není splněna, tudíž je potřeba sloup posoudit na dvouosý ohyb.

- Návrhová únosnost osově namáhaného průřezu:

$$\begin{aligned} N_{Rd} &= A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd} = 0,16 \cdot 20 \cdot 10^3 + 804 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \\ &= 3549,56 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Součinitel  $\alpha$ :

$$\frac{N_{Ed,max}}{N_{Rd}} = \frac{164,48}{3549,56} = 0,046 \rightarrow \alpha = 1,0$$

- Podmínka spolehlivosti:

$$\left( \frac{M_{Ed,přísl,n,y}}{M_{Rd,y}} \right)^\alpha + \left( \frac{M_{Ed,přísl,n,z}}{M_{Rd,z}} \right)^\alpha \leq 1,0$$

$$\left( \frac{11,74}{77,5} \right)^1 + \left( \frac{31,12}{77,5} \right)^1 \leq 1,0$$

$$0,55 < 1$$

**VYHOVUJE**

2. Pro  $M_{Ed,max,z}$ :

- Výstřednost ve směru osy y:

$$e_y = \frac{M_{Ed,přísl,m,y}}{N_{Ed,přísl,m}} = \frac{10,49}{142,09} = 0,0738$$

- Výstřednost ve směru osy z:

$$e_z = \frac{M_{Ed,max,z}}{N_{Ed,přísl,m}} = \frac{63,73}{142,09} = 0,4485$$

- Podmínka:

$$\frac{e_y/h_{eq}}{e_z/b_{eq}} = \frac{0,0738/0,4}{0,4485/0,4} = 0,16 \leq 0,2$$

→ Podmínka je splněna, tudíž není potřeba sloup posoudit na dvouosý ohyb.

### 5.7.2 Mezní stav použitelnosti

Sloupy jsou navrženy z betonu se stupněm vlivu prostředí XC2, jelikož jsou sloupy zakotveny v základové patce pod úrovní terénu. Maximální šířka trhliny těchto sloupů je  $w_{max} = 0,3 \text{ mm}$ . Mezní stav omezení napětí není potřeba vzhledem ke stupni vlivu prostředí XC posuzovat.

#### Omezení trhlin

Jelikož se jedná o sloup stejně vyztužený, jako sloup S4 a S5, jsou převzaty již vypočtené hodnoty (viz 5.6).

Vnitřní síly:

Vnitřní síly byly vypočteny lineární pružnou analýzou pomocí programu Scia Engineer 16 pro kvazistálou kombinaci zatížení.

- Maximální moment na sloupech v prvním podlaží:

$$M_{max,kvaz,1} = 40,10 \text{ kNm}$$

- Napětí ve výztuži:

$$\begin{aligned} \sigma_{s,1} &= \alpha_e \cdot \frac{M_{max,kvaz,1}}{I_{ir}} \cdot (d_1 - x) = 6,061 \cdot \frac{40,10 \cdot 10^{-3}}{0,0002442} \cdot (0,352 - 0,0742) \\ &= 276,49 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Šířka trhliny na sloupu:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$\begin{aligned}
 w_k &= \left( k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\varphi}{\rho_{p,eff}} \right) \cdot \frac{1}{E_s} \cdot \left[ \sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}) \right] \\
 &= \left( 3,4 \cdot 0,04 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{0,016}{0,0184} \right) \cdot \frac{1}{200 \cdot 10^3} \\
 &\quad \cdot \left[ 276,49 - 0,4 \cdot \frac{2,9}{0,0184} \cdot (1 + 6,061 \cdot 0,0184) \right] = 0,000293 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 w_{k,min} &= \left( k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\varphi}{\rho_{p,eff}} \right) \cdot \frac{1}{E_s} \cdot 0,6 \cdot \sigma_s \\
 &= \left( 3,4 \cdot 0,04 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{0,016}{0,0184} \right) \cdot \frac{1}{200 \cdot 10^3} \cdot 0,6 \cdot 276,49 \\
 &= 0,000235 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$w_k = 0,293 \text{ mm} < w_{lim} = 0,3 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

## 5.8 Ztužující jádro

### 5.8.1 Mezní stav únosnosti

Stěny v prvním podlaží jsou navrženy z betonu C30/37 se stupněm vlivu prostředí XC2, jelikož jsou stěny zakotveny v základovém pásu pod úrovní terénu. Ve druhém a třetím podlaží je uvažovaný stupeň vlivu prostředí XC1. Účinná délka stěny je uvažována na stranu bezpečnou ( $l = l_0$ ), i když vodorovné síly působící na stavbu přebírá především jádro, tak i přesto může docházet k mírnému vodorovnému posunu stropních desek vůči sobě.

#### Vnitřní síly vypočtené lineární pružnou analýzou

$$N_{\max} = -678,76 \text{ kN}$$

$$M_{přísl} = 72,28 \text{ kNm}$$

$$M_{\max} = 90,02 \text{ kNm}$$

$$N_{přísl} = -57,48 \text{ kN}$$

#### Krytí

Krycí vrstva je počítána pro beton se stupněm vlivu prostředí XC2. Stěny ve druhém a třetím podlaží z betonu se stupněm vlivu prostředí XC1 jsou navrženy se stejným krytím jako stěny

prvního podlaží, z důvodu zjednodušení a eliminace chyb na stavbě. Návrhová životnost konstrukce třídy S4 je 50 let.

Krytí hlavní nosné výztuže:

- Průměr výztuže:  $\emptyset = 14 \text{ mm}$
- Minimální krycí vrstva z hlediska soudržnosti:  $c_{min,b} = 14 \text{ mm}$
- Minimální krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí:  $c_{min,dur} = 25 \text{ mm}$
- Přídavná bezpečnostní složka:  $\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$
- Redukce minimální krycí vrstvy při použití nerezové oceli:

$$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$$

- Redukce minimální krycí vrstvy při použití přídavné ochrany:

$$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

- Minimální krycí vrstva:

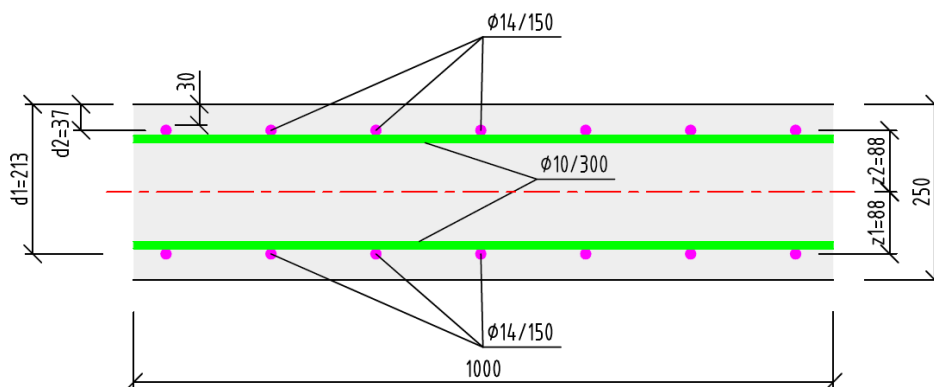
$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

$$= \max\{14; 25; 10 \text{ mm}\} = 25 \text{ mm}$$

- Toleranční zvětšení:  $\Delta c_{dev} = 5 - 10 \text{ mm}$
- Nominální krycí vrstva:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 25 + 5 = 30 \text{ mm}$$

## Vstupní parametry



Obr. 102: Průřez stěny

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,78}{200} = 2,174 \text{ ‰}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,174} = 0,617$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,174} = 2,639$$

- Vzdálenosti výztuže od okraje stěny:

$$d_1 = h - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} = 250 - 30 - \frac{14}{2} = 213 \text{ mm}$$

$$d_2 = c_{nom} + \frac{\emptyset}{2} = 30 + \frac{14}{2} = 37 \text{ mm}$$

- Ramena vnitřních sil:

$$z_1 = z_2 = \frac{h}{2} - d_2 = \frac{250}{2} - 37 = 88 \text{ mm}$$

- Plocha betonu:

$$A_c = b \cdot h = 1000 \cdot 250 = 0,25 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$

- Plocha výztuže:

$$A_{s,1} = A_{s,2} = \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{4} = \frac{1000}{150} \cdot \frac{\pi \cdot 14^2}{4} = 1026 \text{ mm}^2$$

## Geometrické imperfekce

Geometrické imperfekce jsou počítány zvlášť pro stěnu v prvním podlaží, které přísluší maximální normálová síla, a zvlášť pro stěnu třetího podlaží, kterému přísluší maximální ohybový moment.

- Účinná délka pro oboustranně vetknutou stěnu výšky 4765 mm:

$$l_{0,a} = l = 4,765 \text{ m}$$

- Účinná délka pro oboustranně vetknutou stěnu výšky 3675 mm:

$$l_{0,b} = l = 3,675 \text{ m}$$

- Výstřednost pro stěnu výšky 4765 mm:

$$e_{i,a} = l_{0,a}/400 = 4765/400 = 11,9 \text{ mm}$$



- Výstřednost pro stěnu výšky 3675 mm:

$$e_{i,b} = l_{0,b}/400 = 3675/400 = 9,2 \text{ mm}$$

- Návrhový moment podle teorie I. řádu s vlivem imperfekcí:

$$M_{Ed,přísl} = M_{přísl} + N_{\max} \cdot e_{i,a} = 72,28 + 678,76 \cdot 0,0119 = 80,36 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,max} = M_{\max} + N_{přísl} \cdot e_{i,b} = 90,02 + 57,48 \cdot 0,0092 = 90,55 \text{ kNm}$$

### Návrhové vnitřní síly

$$N_{Ed,max} = -678,76 \text{ kN} \quad M_{Ed,přísl} = 80,36 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,max} = 90,55 \text{ kNm} \quad N_{Ed,přísl} = -57,48 \text{ kN}$$

### Body interakčního diagramu

Bod 0 – pouze tlak

$$x = h = 0,25 \text{ m}$$

$$\sigma_s = \varepsilon_{c2} \cdot E_s = 2 \cdot 200 = 400 \text{ MPa} < f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} N_{Rd,0} &= -F_{s1} - F_c - F_{s2} = -(2 \cdot A_s \cdot \sigma_s + A_c \cdot f_{cd}) \\ &= -(2 \cdot 1026 \cdot 10^{-6} \cdot 400 \cdot 10^3 + 0,25 \cdot 20 \cdot 10^3) = -5820,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$M_{Rd,0} = F_{s2} \cdot z_2 - F_{s1} \cdot z_1 = 0 \text{ kNm}$$

Bod 1 – Neutrální osa prohází těžištěm výztuže  $A_{sI}$

$$x = d_1 = 0,213 \text{ m}$$

$$d_1 = 213 \text{ mm} > \xi_{bal2} \cdot d_2 = 2,639 \cdot 37 = 97,6 \text{ mm} \rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} N_{Rd,1} &= -F_c - F_{s2} = -(0,8 \cdot d_1 \cdot b \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot \sigma_{s2}) \\ &= -(0,8 \cdot 0,213 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 + 1026 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3) \\ &= -3854,1 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{Rd,1} &= 0,8 \cdot d_1 \cdot b \cdot f_{cd} \cdot \left( \frac{h}{2} - 0,4 \cdot d_1 \right) + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2 \\
 &= 0,8 \cdot 0,213 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot \left( \frac{0,25}{2} - 0,4 \cdot 0,213 \right) + 1026 \cdot 10^{-6} \\
 &\quad \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,088 = 174,9 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Bod 2 – Rozhraní mezi tlakovým porušením betonu a tahovým porušením oceli

$$\begin{aligned}
 \xi_{bal1} \cdot d_1 &= 0,617 \cdot 213 = 131,4 \text{ mm} > \xi_{bal2} \cdot d_2 = 2,639 \cdot 37 = 97,6 \text{ mm} \rightarrow \sigma_{s1} \\
 &= \sigma_{s2} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$x = \xi_{bal1} \cdot d_1 = 0,617 \cdot 0,213 = 0,1314 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 N_{Rd,2} &= -F_c - F_{s2} + F_{s1} = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} = 0,8 \cdot 0,1314 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \\
 &= -2102,4 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{Rd,2} &= 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} \cdot \left( \frac{h}{2} - 0,4 \cdot x \right) + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 \cdot 2 \\
 &= 0,8 \cdot 0,1314 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot \left( \frac{0,25}{2} - 0,4 \cdot 0,1314 \right) + 1026 \cdot 10^{-6} \\
 &\quad \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,088 \cdot 2 = 230,81 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Bod 3 – Prostý ohyb

$$x = ?; F_c = F_s$$

$$N_{Rd,3} = -F_c + F_s = 0 \text{ kN}$$

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{1026 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3} = 0,0279 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 M_{Rd,3} &= F_s \cdot (d_1 - 0,4 \cdot x) = 1026 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot (0,213 - 0,4 \cdot 0,0279) \\
 &= 90,04 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Bod 4 - Neutrální osa prochází těžištěm výztuže  $A_{s2}$ , průřez je tažený

$$N_{Rd,4} = F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 1026 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 446,08 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,4} = F_{s1} \cdot z_1 = 446,08 \cdot 0,088 = 39,26 \text{ kNm}$$

Bod 5 – Průřez je tažený

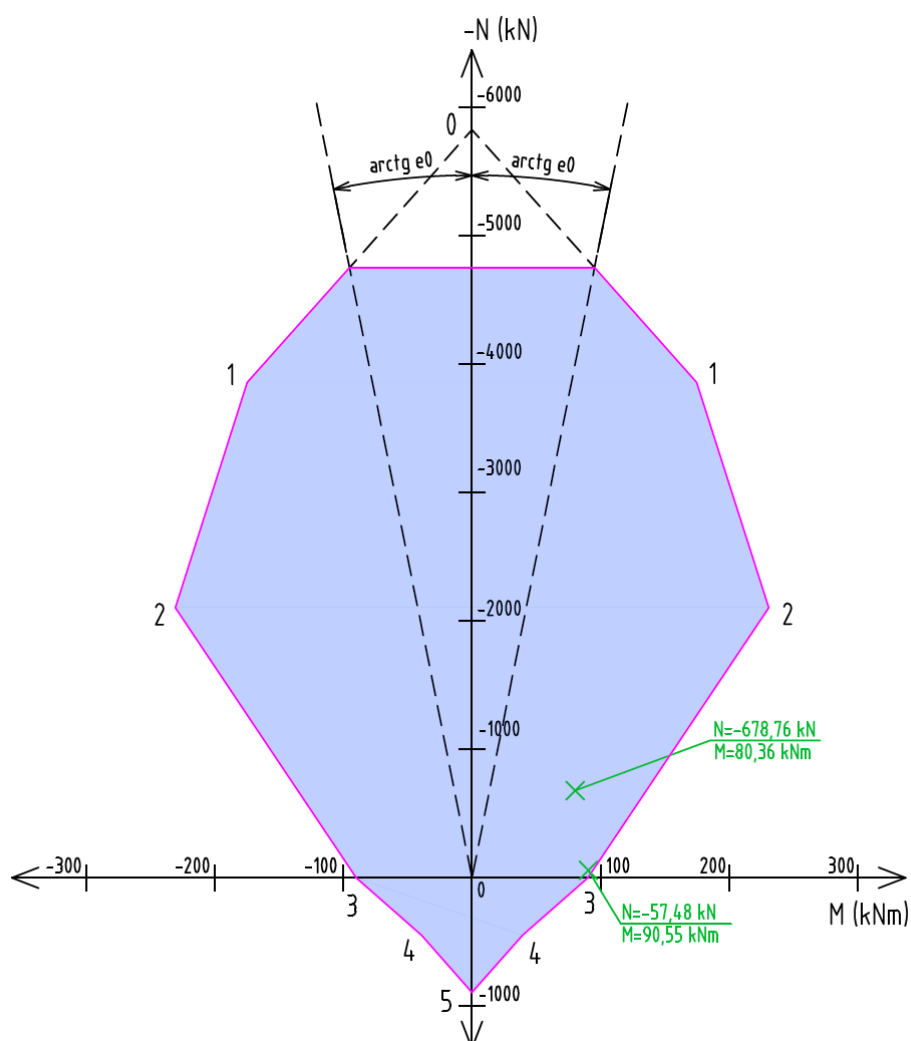
$$N_{Rd,5} = F_{s1} + F_{s2} = 446,08 \cdot 2 = 892,16 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,5} = F_{s1} \cdot z_1 - F_{s2} \cdot z_2 = 0 \text{ kNm}$$

### Interakční diagram

- Výstřednost tlakové normálové síly:

$$e_0 = \max \left\{ \frac{h}{30} \right\} = \max \left\{ \frac{400}{30} \right\} = 20 \text{ mm}$$



Obr. 103: Interakční diagram

## Konstrukční zásady

### Podélná (nosná) výztuž

- Omezení množství výztuže:

$$A_{s,min} = 0,002 \cdot A_c = 0,002 \cdot 0,25 = 500 \cdot 10^{-6} m^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,25 = 10000 \cdot 10^{-6} m^2$$

$$A_{s,min} = 500 \cdot 10^{-6} m^2 < A_{s,1} = A_{s,2} = 1026 \cdot 10^{-6} m^2 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$A_{s,max} = 10000 \cdot 10^{-6} m^2 > A_s = 2052 \cdot 10^{-6} m^2 \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Maximální osová vzdálenost výztuže:

$$s_{os,skut} = 150 mm$$

$$s_{os,max} = \min \left\{ \frac{400}{3 \cdot h} \right\} = \min \left\{ \frac{400}{3 \cdot 250} \right\} = 400 mm$$

$$s_{os,max} = 400 mm > s_{os,skut} = 150 mm \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_{sv,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot \phi_{max} \\ d_g + 5 mm \\ 20 mm \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot 14 \\ 22 + 5 \\ 20 \end{array} \right\} = 27 mm$$

$$s_{sv,skut} = s_{os,skut} - \phi = 150 - 14 = 136 mm$$

$$s_{sv,min} = 27 mm < s_{sv,skut} = 136 mm \quad \text{VYHOVUJE}$$

### Rozdělovací výztuž:

- Maximální vzdálenost výztuže:

$$s_{sw,max} = 400 mm$$

- Minimální plocha výztuže:

$$A_{sw,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \cdot A_{s,v} \\ 0,001 \cdot A_c \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \cdot 1026 \\ 0,001 \cdot 250 \end{array} \right\} = 257 mm^2$$

Navržená rozdělovací výztuž:  $\emptyset 10/300 mm$

## Kotevní délka

Kotevní délka je počítána pro pruty v dobrých podmínkách soudržnosti.

Pro výztuž  $\emptyset = 14 \text{ mm}$

- Návrhová hodnota pevnosti betonu v tahu:

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk;0.05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

- Návrhová hodnota mezního napětí v soudržnosti:

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

- Základní požadovaná kotevní délka:

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset_{14}}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{14}{4} \cdot \frac{434,78}{3} = 507 \approx 510 \text{ mm}$$

- Návrhová kotevní délka:

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 510 = 510 \text{ mm}$$

- Minimální kotevní délka:

$$l_{b,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,6 \cdot l_{b,rqd} \\ 10 \cdot \emptyset_{14} \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,6 \cdot 510 \\ 10 \cdot 14 \\ 100 \end{array} \right\} = 306 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 510 \text{ mm} > l_{b,min} = 306 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

Pro výztuž  $\emptyset = 10 \text{ mm}$

- Návrhová hodnota pevnosti betonu v tahu:

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk;0.05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

- Návrhová hodnota mezního napětí v soudržnosti:

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

- Základní požadovaná kotevní délka:

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset_{10}}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{10}{4} \cdot \frac{434,78}{3} = 362 \approx 370 \text{ mm}$$

- Návrhová kotevní délka:

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 370 = 370 \text{ mm}$$

- Minimální kotevní délka:

$$l_{b,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot l_{b,rqd} \\ 10 \cdot \phi_{10} \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot 370 \\ 10 \cdot 10 \\ 100 \end{array} \right\} = 111 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 370 \text{ mm} > l_{b,min} = 111 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

### Délka přesahu

Pro výztuž  $\phi = 14 \text{ mm}$

- Součinitel pro případ, kdy je procento prutů stykovaných přesahem v poměru k celkové průřezové ploše výztuže větší než 50%:

$$\alpha_6 = 1,5$$

- Návrhová délka přesahu:

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 507 \approx 770 \text{ mm}$$

- Minimální délka přesahu:

$$l_{0,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \\ 15 \cdot \phi_{14} \\ 200 \text{ mm} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot 1,5 \cdot 510 \\ 15 \cdot 14 \\ 200 \end{array} \right\} = 230 \text{ mm}$$

$$l_0 = 770 \text{ mm} > l_{0,min} = 230 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

Pro výztuž  $\phi = 10 \text{ mm}$

- Součinitel pro případ, kdy je procento prutů stykovaných přesahem v poměru k celkové průřezové ploše výztuže větší než 50%:

$$\alpha_6 = 1,5$$

- Návrhová délka přesahu:

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 362 \approx 550 \text{ mm}$$

- Minimální délka přesahu:

$$l_{0,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \\ 15 \cdot \phi_{10} \\ 200 \text{ mm} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot 1,5 \cdot 370 \\ 15 \cdot 10 \\ 200 \end{array} \right\} = 200 \text{ mm}$$

$$l_0 = 550 \text{ mm} > l_{0,min} = 200 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

### 5.8.2 Mezní stav použitelnosti

Stěny v prvním podlaží jsou navrženy z betonu se stupněm vlivu prostředí XC2, jelikož jsou zakotveny v základovém pásu pod úrovní terénu. Maximální šířka trhliny těchto stěn je  $w_{max} = 0,3 \text{ mm}$ . Stěny ve druhém a třetím podlaží jsou navrženy z betonu se stupněm vlivu prostředí XC1. Maximální šířka trhliny těchto sloupů je  $w_{max} = 0,4 \text{ mm}$  z důvodu estetického vzhledu. Mezní stav omezení napětí není potřeba vzhledem ke stupni vlivu prostředí XC posuzovat.

#### Omezení trhlin

Vnitřní síly:

Vnitřní síly byly vypočteny lineární pružnou analýzou pomocí programu Scia Engineer 16 pro kvazistálou kombinaci zatížení.

- Maximální moment na stěnách v prvním podlaží:

$$M_{max,kvaz,1} = 44,83 \text{ kNm}$$

- Maximální moment na stěnách ve druhém a třetím podlaží:

$$M_{max,kvaz,2,3} = 55,10 \text{ kNm}$$

Ideální průřez plně působící

- Poměr tuhostí výztuže a betonu:

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{33} = 6,061$$

- Plocha ideálního průřezu:

$$\begin{aligned} A_i &= A_c + (\alpha_e - 1) \cdot (A_{s1} + A_{s2}) = 0,25 + (6,061 - 1) \cdot (2 \cdot 1026 \cdot 10^{-6}) \\ &= 0,26 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Vzdálenost těžiště ideálního průřezu od horního okraje:

$$\begin{aligned} a_{gi} &= \frac{[A_c \cdot a_c + (\alpha_e - 1) \cdot (A_{s1} \cdot d_1 + A_{s2} \cdot d_2)]}{A_i} \\ &= \frac{[0,25 \cdot 0,125 + (6,061 - 1) \cdot (1026 \cdot 10^{-6} \cdot 0,213 + 1026 \cdot 10^{-6} \cdot 0,037)]}{0,26} \\ &= 0,125 \text{ m} \end{aligned}$$

- Moment setrvačnosti ideálního průřezu k jeho těžišti:

$$\begin{aligned}
 I_i &= I_c + A_c \cdot (a_{gi} - a_c)^2 + (\alpha_e - 1) \cdot [A_{s1} \cdot (d_1 - a_{gi})^2 + A_{s2} \cdot (a_{gi} - d_2)^2] \\
 &= \frac{1}{12} \cdot 1 \cdot 0,25^3 + 0,25 \cdot (0,125 - 0,125)^2 + (6,061 - 1) \\
 &\quad \cdot [1026 \cdot 10^{-6} \cdot (0,213 - 0,125)^2 + 1026 \cdot 10^{-6} \cdot (0,125 - 0,037)^2] \\
 &= 0,001383 \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

- Ohybový moment při vzniku trhlin:

$$M_{cr,lt} = f_{ctm} \cdot \frac{I_i}{h - a_{gi}} = 2,9 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,001383}{0,25 - 0,125} = 32,09 \text{ kNm}$$

Průřez s trhlínami (vyloučený tah v betonu)

- Vzdálenost neutrální osy od tlačného okraje:

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{\alpha_e}{b} \cdot (A_{s1} + A_{s2}) \cdot \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b}{\alpha_e} \cdot \frac{A_{s1} \cdot d_1 + A_{s2} \cdot d_2}{(A_{s1} + A_{s2})^2}} \right] \\
 &= \frac{6,061}{1} \cdot 2 \cdot 1026 \cdot 10^{-6} \\
 &\quad \cdot \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 1}{6,061} \cdot \frac{1026 \cdot 10^{-6} \cdot 0,213 + 1026 \cdot 10^{-6} \cdot 0,037}{(2 \cdot 1026 \cdot 10^{-6})^2}} \right] \\
 &= 0,0447 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Moment setrvačnosti:

$$\begin{aligned}
 I_{ir} &= \frac{1}{3} \cdot b \cdot x^3 + \alpha_e \cdot [A_{s1} \cdot (d_1 - x)^2 + A_{s2} \cdot (x - d_2)^2] \\
 &= \frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 0,0447^3 + 6,061 \\
 &\quad \cdot [1026 \cdot 10^{-6} \cdot (0,213 - 0,0447)^2 + 1026 \cdot 10^{-6} \\
 &\quad \cdot (0,0447 - 0,037)^2] = 0,000206 \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

- Krycí vrstva podélné výztuže:

$$c = 0,03 \text{ m}$$

- Průměr prutu podélné výztuže:

$$\varphi = 0,014 \text{ m}$$



- Ostatní vstupní údaje a součinitele:

$$h_{c,eff} = \min \left\{ \frac{2,5 \cdot (h - d_1)}{(h - x)/3}, \frac{h}{2} \right\} = \min \left\{ \frac{2,5 \cdot (0,25 - 0,213)}{(0,25 - 0,0447)/3}, \frac{0,25}{2} \right\} = 0,068 \text{ m}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{b \cdot h_{c,eff}} = \frac{2 \cdot 1026 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 0,068} = 0,0302$$

$$k_1 = 0,8; k_2 = 0,5; k_3 = 3,4; k_4 = 0,425; k_t = 0,4$$

- Napětí ve výztuži na stěně v prvním podlaží:

$$\begin{aligned} \sigma_{s,1} &= \alpha_e \cdot \frac{M_{max,kvaz,1}}{I_{ir}} \cdot (d_1 - x) = 6,061 \cdot \frac{44,83 \cdot 10^{-3}}{0,000206} \cdot (0,213 - 0,0447) \\ &= 221,99 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Šířka trhliny na stěně v prvním podlaží:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$\begin{aligned} w_k &= \left( k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\varphi}{\rho_{p,eff}} \right) \cdot \frac{1}{E_s} \cdot \left[ \sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}) \right] \\ &= \left( 3,4 \cdot 0,03 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{0,014}{0,0302} \right) \cdot \frac{1}{200 \cdot 10^3} \\ &\quad \cdot \left[ 221,99 - 0,4 \cdot \frac{2,9}{0,0302} \cdot (1 + 6,061 \cdot 0,0302) \right] = 0,000190 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_{k,min} &= \left( k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\varphi}{\rho_{p,eff}} \right) \cdot \frac{1}{E_s} \cdot 0,6 \cdot \sigma_s \\ &= \left( 3,4 \cdot 0,03 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{0,014}{0,0302} \right) \cdot \frac{1}{200 \cdot 10^3} \cdot 0,6 \cdot 221,99 \\ &= 0,000143 \text{ m} \end{aligned}$$

$$w_k = 0,190 \text{ mm} < w_{lim} = 0,3 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

- Napětí ve výztuži na stěně ve druhém a třetím podlaží:

$$\begin{aligned} \sigma_{s,2,3} &= \alpha_e \cdot \frac{M_{max,kvaz,2,3}}{I_{ir}} \cdot (d_1 - x) = 6,061 \cdot \frac{55,10 \cdot 10^{-3}}{0,000206} \cdot (0,213 - 0,0447) \\ &= 272,84 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Šířka trhliny na stěně ve druhém a třetím podlaží:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$\begin{aligned}
w_k &= \left( k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\varphi}{\rho_{p,eff}} \right) \cdot \frac{1}{E_s} \cdot \left[ \sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}) \right] \\
&= \left( 3,4 \cdot 0,03 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{0,014}{0,0302} \right) \cdot \frac{1}{200 \cdot 10^3} \\
&\quad \cdot \left[ 272,84 - 0,4 \cdot \frac{2,9}{0,0302} \cdot (1 + 6,061 \cdot 0,0302) \right] = 0,000206 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
w_{k,min} &= \left( k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\varphi}{\rho_{p,eff}} \right) \cdot \frac{1}{E_s} \cdot 0,6 \cdot \sigma_s \\
&= \left( 3,4 \cdot 0,03 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{0,014}{0,0302} \right) \cdot \frac{1}{200 \cdot 10^3} \cdot 0,6 \cdot 272,84 \\
&= 0,000148 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$w_k = 0,206 \text{ mm} < w_{lim} = 0,4 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

## 5.9 Schodiště

### 5.9.1 Mezní stav únosnosti

#### Krytí

Schodišťová deska se nachází uvnitř budovy a je chráněna proti povětrnostním vlivům, proto je navržena z betonu C30/37 se stupněm vlivu prostředí XC1. Návrhová životnost konstrukce třídy S4 je 50 let.

- Průměr výztuže:  $\emptyset = 8 \text{ mm}$
- Minimální krycí vrstva z hlediska soudržnosti:  $c_{min,b} = 8 \text{ mm}$
- Minimální krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí:  $c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$
- Přídavná bezpečnostní složka:  $\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$
- Redukce minimální krycí vrstvy při použití nerezové oceli:

$$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$$

- Redukce minimální krycí vrstvy při použití přídavné ochrany:

$$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

- Minimální krycí vrstva:

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

$$= \max\{8; 15; 10 \text{ mm}\} = 15 \text{ mm}$$

- Toleranční zvětšení:

$$\Delta c_{dev} = 5 - 10 \text{ mm}$$

- Nominální krycí vrstva:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 15 + 5 = 20 \text{ mm}$$

Jelikož je schodiště spojeno se stěnou jádra pomocí vylamovací výztuže, je potřeba upravit krycí vrstvu dle možnosti nabízených prvků dle katalogu výrobce. Je použit box s vylamovací výztuží od firmy Peikko šířky 85 mm. Vnější vzdálenost výztuže je v tomto případě 60 mm.

- Upravená nominální krycí vrstva:

$$c_{nom,up} = \frac{h - 60}{2} = \frac{120 + 60}{2} = 30 \text{ mm}$$

## Ohyb

Návrhový moment:

$$m_{Ed} = -9,77 \text{ kNm/m}$$

Návrh

- Účinná výška průřezu ve směru  $x$ :

$$d_{x,8} = h - c_{nom,up} - \frac{1}{2} \cdot \phi_8 = 120 - 30 - \frac{1}{2} \cdot 8 = 86 \text{ mm}$$

- Nutná plocha výztuže:

$$A_{s,req} = \frac{|m_{Ed}|}{f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d_{x,8}} = \frac{|9,77 \cdot 10^3|}{434,78 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,086} = 290 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Vzdálenost prutů:

$$s_{req} = \frac{1}{A_{s,req}} \cdot \frac{\pi \cdot \phi_8^2}{4} = \frac{1000}{290} \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 173 \text{ mm}$$

**Návrh:  $\phi 8/150 \text{ mm}$**

- Skutečná plocha výztuže:

$$A_s = \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \phi_8^2}{4} = \frac{1000}{150} \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 335 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

## Posudek

- Síla ve výztuži:

$$F_s = A_{s,r} \cdot f_{yd} = 335 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 145,65 \text{ kN}$$

- Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{145,65 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0091 \text{ m}$$

- Moment únosnosti průřezu:

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d_{x,8} - 0,4 \cdot x) = 145,65 \cdot (0,086 - 0,4 \cdot 0,0091) = 12,0 \text{ kNm/m}$$

$$\mathbf{m_{Rd} = 12,0 \text{ kNm/m} > m_{Ed} = 9,77 \text{ kNm/m}}$$

## Konstrukční zásady

- Omezení množství výztuže:

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d_{x,8} \\ 0,0013 \cdot b \cdot d_{x,8} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 1 \cdot 0,086 \\ 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,086 \end{array} \right\}$$
$$= 130 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min,CSN} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,0018 \cdot \frac{f_{yk}}{500} \cdot b \cdot d_{x,8} \\ 0,0014 \cdot b \cdot d_{x,8} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,0018 \cdot \frac{500}{500} \cdot 1 \cdot 0,086 \\ 0,0014 \cdot 1 \cdot 0,086 \end{array} \right\}$$
$$= 155 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,120 = 4800 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\mathbf{A_{s,min} = 130 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < A_{s,r} = 335 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

$$\mathbf{A_{s,min,CSN} = 155 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < A_{s,r} = 335 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

$$\mathbf{A_{s,max} = 4800 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_{s,r} = 670 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

- Maximální osová vzdálenost výztuže:

$$s_{os,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2 \cdot h \\ 300 \text{ mm} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2 \cdot 120 \\ 300 \end{array} \right\} = 240 \text{ mm}$$

$$\mathbf{s_{os,max} = 240 \text{ mm} = s_{os,skut} = 150 \text{ mm}} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

- Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_{sv,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot \phi_{max} \\ d_g + 5 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot 8 \\ 22 + 5 \\ 20 \end{array} \right\} = 27 \text{ mm}$$

$$s_{sv,skut} = s_{os,skut} - \phi_8 = 150 - 8 = 142 \text{ mm}$$

$$s_{sv,min} = 27 \text{ mm} < s_{sv,skut} = 142 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

- Omezení výšky tlačené oblasti:

$$\xi = \frac{x}{d_{x,8}} = \frac{0,0091}{0,086} = 0,106$$

$$\xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

$$\xi_{bal} = 0,617 > \xi = 0,106$$

**VYHOVUJE**

Vylamovací výztuž použita ve stěnách jádra k napojení schodiště: PEIKKO TSA 8-150-85 (L1=190 mm, L2=440 mm)

### Kotevní délka

Kotevní délka je počítána pro pruty v dobrých podmínkách soudržnosti.

Pro výztuž  $\phi = 8 \text{ mm}$

- Návrhová hodnota pevnosti betonu v tahu:

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk;0.05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

- Návrhová hodnota mezního napětí v soudržnosti:

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

- Základní požadovaná kotevní délka:

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{8}{4} \cdot \frac{434,78}{3} = 290 \text{ mm}$$

- Návrhová kotevní délka:

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 290 = 290 \text{ mm}$$

- Minimální kotevní délka:

$$l_{b,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,6 \cdot l_{b,rqd} \\ 10 \cdot \varnothing \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,6 \cdot 290 \\ 10 \cdot 8 \\ 100 \end{array} \right\} = 174 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 290 \text{ mm} > l_{b,min} = 174 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

### Délka přesahu

Pro výztuž  $\varnothing = 8 \text{ mm}$

- Součinitel pro případ, kdy je procento prutů stykovaných přesahem v poměru k celkové průřezové ploše výztuže větší než 50%:

$$\alpha_6 = 1,5$$

- Návrhová délka přesahu:

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 290 \approx 440 \text{ mm}$$

- Minimální délka přesahu:

$$l_{0,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \\ 15 \cdot \varnothing \\ 200 \text{ mm} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot 1,5 \cdot 290 \\ 15 \cdot 8 \\ 200 \end{array} \right\} = 200 \text{ mm}$$

$$l_0 = 440 \text{ mm} > l_{0,min} = 200 \text{ mm}$$

**VYHOVUJE**

### 5.9.2 Mezní stav použitelnosti

Mezní stav omezení napětí není potřeba vzhledem ke stupni vlivu prostředí XC posuzovat.

### Omezení průhybu

Průhyb není třeba podrobně počítat, pokud vyhoví následující posudek.

- Součinitel zohledňující nosný systém:  $K = 0,4$
- Požadovaný stupeň vyztužení tahovou výztuží:

$$\rho_x = \frac{a_s}{b \cdot d_{x,8}} = \frac{290 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 0,086} = 3,17 \cdot 10^{-3}$$

- Referenční stupeň vyztužení:

$$\rho_0 = 10^{-3} \sqrt{f_{ck}} = 10^{-3} \sqrt{30} = 5,48 \cdot 10^{-3}$$

$\rho_x < \rho_0 \rightarrow$  Použiji podmínku:

$$\frac{l_x}{d_x} = K \cdot \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_x} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \left( \frac{\rho_0}{\rho_x} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

$$\frac{1,2}{0,086} = 0,4 \cdot \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{30} \cdot \frac{5,48 \cdot 10^{-3}}{3,17 \cdot 10^{-3}} + 3,2 \cdot \sqrt{30} \left( \frac{5,48 \cdot 10^{-3}}{3,17 \cdot 10^{-3}} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

$$13,95 < 14,44$$

$\rightarrow$  Není potřeba ověřit průhyb výpočtem

## 6 Závěr

Úkolem práce bylo navrhnout vyztužení hlavních nosných prvků nadzemní části železobetonové skeletové konstrukce administrativní budovy. Bylo spočteno zatížení, vnitřní síly, které byly řádově ověřeny ručním výpočtem. Na vnitřní síly spočtené pomocí programu Scia Engineer bylo navrženo vyztužení. Byla navržena výztuž všech sloupů a desek včetně smykové výztuže na protlačení u vnitřních, krajních a rohových sloupů a v rozích a na koncích stěn ztužujícího jádra. Dále byla navržena výztuž železobetonového schodiště. Navržené výztuže vybraných konstrukcí jsou zobrazeny ve výkresové dokumentaci.

Jednotlivé prvky železobetonové konstrukce byly navrhovány a posuzovány dle požadavků eurokódů jak na mezní stav únosnosti, tak i na mezní stav použitelnosti. Veškeré navrhované konstrukce vyhověly těmto požadavkům.

Všechny konstrukce byly navrženy z betonu pevnostní třídy C30/37, vyztužené betonářskou ocelí B500B. Sloupy byly navrženy čtvercového půdorysu rozměru 400 x 400 mm. Stěny ztužujícího jádra byly navrženy tl. 250 mm. Stropní desky nad prvním, druhým a třetím podlažím byly navrženy tl. 275 mm. Stropní deska nad vyčnívající částí prvního podlaží na úrovni +2,950 m byla navržena tl. 190 mm. Schodišťová deska byla řešena jako konzolová tl. 120 mm.

Během vypracování diplomové práce bylo zapotřebí zopakovat si znalosti získané během studia, stejně tak jako si rozšířit znalosti nad rámec vyučovaných předmětů, jako třeba posudek protlačení desky na koncích a v rozích stěn, posouzení dvouose namáhaného sloupu nebo posudky na mezní stav použitelnosti, ať už se jednalo o výpočet šířky trhlin nebo posouzení průhybu.



## **Poděkování**

Rád bych poděkoval Ing. Martině Šmírákové, Ph.D. vedoucí diplomové práce, za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích diplomové práce. Také bych rád poděkoval Ing. Reně Václavíkovi za pomoc se softwarem Scia Engineer, za jeho cenné rady a ochotu.

## Literatura

- [1] ČSN EN 1990: *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*, Česká technická norma, 2004.
- [2] ČSN EN 1991-1-1: *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*, Česká technická norma, 2004.
- [3] ČSN EN 1991-1-3: *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*, Česká technická norma, 2013.
- [4] ČSN EN 1991-1-4: *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*, Česká technická norma, 2013.
- [5] ČSN EN 1992-1-1: *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby*, Česká technická norma, 2011.
- [6] ČSN EN 1998-1: *Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení – Část 1: Obecná pravidla, seizmická zatížení a pravidla pro pozemní stavby*, Česká technická norma, 2016.
- [7] ČSN 73 1201: *Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb*, Česká technická norma, 2010.
- [8] PROCHÁZKA, J., ŠMEJKAL, J., VÍTEK, J., VAŠKOVÁ, J., *Navrhování betonových konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 1992-1-2*. Informační centrum ČKAIT, s.r.o., Praha, 2010.
- [9] BAŽANT, Z., *Betonové konstrukce I: Betonové konstrukce plošné – Část 1*, CERM, Brno, 2005.
- [10] BAŽANT, Z., *Betonové konstrukce I: Betonové konstrukce plošné – Část 2*, CERM, Brno, 2004.
- [11] ZICH, M., A KOLEKTIV, *Příklady posouzení betonových prvků dle eurokódů*, Verlag Dashöfer, nakladatelství, s.r.o., Praha, 2010.

- [12] PEIKKO GROUP, *PSB – Výstuž proti pretlačeniu dosiek*, Peikko Slovakia s.r.o., 2015.
- [13] Scia Engineer – *Manuál, Referenční příručka*, NEMETSCHEK SCIA.

## Seznam příloh

Výkres č.1	Výkres tvaru ŽB konstrukce – 1.NP	3xA4
Výkres č.2	Výkres tvaru ŽB konstrukce – 2.NP	3xA4
Výkres č.3	Výkres tvaru ŽB konstrukce – 3.NP	3xA4
Výkres č.4	Výkres tvaru ŽB konstrukce – Střešní konstrukce	3xA4
Výkres č.5	Výkres tvaru ŽB konstrukce – Řez A-A	4xA4
Výkres č.6	Výkres výztuže – Sloupy S1 – S6	16xA4
Výkres č.7	Výkres výztuže – Ztužující jádro	22xA4
Výkres č.8	Výkres výztuže – Deska na úrovni +12,340	19xA4
Výkres č.9	Výkres výztuže – Schodiště	16xA4